

# Přesnost dílenských měřidel pro měření drsností povrchů

Marek Tobolka

---

Bakalářská práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek Tobolka**

Osobní číslo: **T14048**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Přesnost dílenských měřidel pro měření drsnosti povrchu**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická rešerše na dané téma
2. Příprava povrchů plastových a kovových materiálů obráběním
3. Hodnocení jakosti povrchu pomocí dílenských a laboratorních měřidel
4. Vyhodnocení výsledků a diskuze



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Dle vedoucího bakalářské práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**2. ledna 2017**

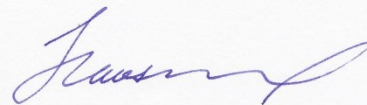
Termín odevzdání bakalářské práce:

**19. května 2017**

Ve Zlíně dne 31. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*



Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:



(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užíje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá porovnáváním výstupních hodnot dílenských a laboratorních drsnoměrů při měření stejného vzorku. Cílem práce je zhodnotit míru shody měření mezi jednotlivými přístroji a citlivost na změnu nastavení měřicího přístroje od normou doporučených parametrů.

Klíčová slova: jakost povrchu, parametry drsnosti, měření drsnosti, statistické vyhodnocení

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis is engaged on comparing output values between workshop and laboratory roughness testers in the course of measuring the same sample. Object of this thesis is to review the matching rate between individual devices and apparatus sensibility to parameter setup different from recommended standartization setup.

Keywords: surface quality, roughness parameters, roughness measuring, statistical evaluation

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Ondřeji Bílkovi Ph.D. za konzultace a rady k této bakalářské práci. Dále pak panu Ing. Jiřímu Šálkovi, za zhotovení měřených vzorků.

Motto:

„Zatímco ztrácíme svůj čas váháním a odkládáním, život utíká.“

Lucius Annaeus Seneca

Prohlášení:

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG na téma **Přesnost dílenských měřidel pro měření drsností povrchů** jsou totožné.

Ve Zlíně

.....



# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 INTEGRITA POVRCHU</b> .....	<b>12</b>
1.1 STRUKTURA POVRCHU.....	13
1.1.1 Geometrická přesnost.....	14
1.1.2 Profil povrchu.....	14
1.1.3 Parametry povrchu profilu .....	16
<b>2 ČINITELÉ OVLIVŇUJÍCÍ JAKOST POVRCHU</b> .....	<b>22</b>
2.1 PARAMETRY ŘEZNÉHO NÁSTROJE.....	22
2.2 PARAMETRY PROCESU .....	25
2.3 ŘEZNÉ JEVY.....	26
2.4 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI.....	27
<b>3 TEORIE MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU</b> .....	<b>28</b>
3.1 CHARAKTERISTIKA JAKOSTI POVRCHU .....	28
3.1.1 Pravidla pro hodnocení povrchu dle normy ČSN EN ISO 4288.....	28
3.1.2 Značení drsnosti povrchu na výkresech .....	29
3.1.3 Způsoby vyhodnocování drsnosti povrchu .....	31
3.2 MĚŘIDLA.....	31
3.2.1 Vzorkovnice drsnosti.....	32
3.2.2 Kontaktní měřicí přístroje (dotykové drsnoměry).....	33
3.2.3 Bezdotykové měřicí přístroje .....	35
3.2.4 Další možné způsoby měření drsnosti.....	37
<b>4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>38</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>39</b>
<b>5 POUŽITÉ PŘÍSTROJE A MĚŘENÉ VZORKY</b> .....	<b>40</b>
5.1 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE .....	40
5.1.1 Mitutoyo Surftest SJ-301 .....	40
5.1.2 Mitutoyo Surftest SJ-410 .....	41
5.1.3 Taylor-Hobson Intra SN:535.....	42
5.1.4 Kalibrace přístrojů.....	43
5.2 MĚŘENÉ VZORKY .....	43
5.2.1 Nástrojová ocel 19 436.....	44
5.2.2 Polyetylen (PE) .....	45
5.2.3 Plochy aktivního měření.....	46
<b>6 VÝPOČTY</b> .....	<b>47</b>
6.1 VÝSLEDKY Z PROGRAMU MINITAB.....	47
6.2 VÝPOČET ROZŠÍŘENÉ NEJISTOTY .....	47
6.2.1 Standardní nejistota typu B .....	48
6.2.2 Kombinovaná nejistota.....	48
6.2.3 Rozšířená nejistota .....	48
<b>7 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT</b> .....	<b>49</b>

7.1	TAYLOR-HOBSON INTRA SN:535 .....	50
7.2	MITUTOYO SURFTEST SJ-410.....	53
7.3	MITUTOYO SURFTEST SJ-301.....	56
<b>8</b>	<b>SROVNÁNÍ HODNOT DLE NASTAVENÝCH PARAMETRŮ.....</b>	<b>60</b>
8.1	NASTAVENÍ ČÍSLO 1 .....	61
8.2	NASTAVENÍ ČÍSLO 2 .....	61
8.3	NASTAVENÍ ČÍSLO 4 .....	62
8.4	NASTAVENÍ ČÍSLO 5 .....	63
8.5	VHODNÁ NASTAVENÍ.....	64
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>77</b>

## ÚVOD

Pro měření drsnosti povrchu lze pořídit několik drsnoměrů od různých výrobců. Tyto drsnoměry se liší jak v pořizovací ceně, tak v rozlišitelnosti naměřených hodnot. Proto se tato práce soustředí na to, jestli níže uvedené tři drsnoměry, při různé variabilitě nastavených parametrů, vykazují stejné, či podobné naměřené hodnoty u stejných vzorků.

Fakulta technologická ve Zlíně, má k dispozici dva dílenské drsnoměry a to MITUTOYO SURFTEST SJ-301 a MITUTOYO SURFTEST SJ-410. Dále pak laboratorní drsnoměr TAYLOR HOBSON INTRA SN:535.

Měří se dva materiály, každý z nich obroben dvěma různými způsoby třískového obrábění. Což poskytuje čtyři vzorky. Tyto vzorky se měří v pěti, nebo šesti kombinacích nastavení parametrů, dle možností drsnoměrů. Vzorky jsou měřeny ve dvanácti opakováních pro každý materiál, způsob obrábění, přístroj a nastavené parametry. U drsnoměrů Mitutoyo byla možnost vyměnit i rádius špičky hrotu, díky tomu je možné vidět, jak velký vliv na měření dílenskými drsnoměry má volba specifického hrotu. V praktické části, je na základě naměřených hodnot doporučeno, kterým nastavením drsnoměrů se vyhnout a popsán důvod, proč je doporučeno se takovému nastavení vyvarovat. V poslední části jsou brány výsledky laboratorního drsnoměru jako referenční. K těmto hodnotám jsou v grafu přiřazovány hodnoty zjištěny na dílenských přístrojích a připočteny tolerance. Díky čemuž lze zjistit, jestli se toleranční pole všech tří drsnoměrů překrývají, nebo jestli se liší. Toto vyhodnocení může poukázat na možnost, kdy je určité měření specifickým přístrojem a nastavením nedostačující pro dílenské měření.



## I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1 INTEGRITA POVRCHU

Pod pojmem integrita povrchu je myšleno ovlivnění funkčnosti povrchu výrobku v závislosti na zvoleném typu výrobní technologie. „Integrita povrchu je proto odrazem podmínek, za kterých funkční plocha vzniká, bere v úvahu důsledky působení technologických metod na jakost obrobené plochy a dává je do vztahu k funkčním požadavkům na celý výrobek.“ [1] Je tedy na místě říci, že každá vyráběná součást má jasně předepsané parametry, mezi které spadá i integritu povrchu, podle kterých se musí určovat výrobní postup s ohledem na znalost mechanismu vytváření nového povrchu, který je u každé součásti jedinečný. Proto je nutné sledovat všechny parametry integrity, podle kterých se zpětně upravují výrobní podmínky vyráběné součásti dle požadavků zákazníka.

Na povrch součásti působí mnoho vlivů, ať už při samotné výrobě či montáži. Tyto vlivy lze rozdělit na dvě hlavní skupiny, vnější vlivy a vnitřní vlivy. Vnější vlivy rozdělujeme na mechanické (provozní napětí), chemické (koroze), fyzikální (záření) a kombinaci více vlivů (koroze pod napětím, elektrochemická koroze, technologické procesy). Vnitřní vlivy rozdělujeme na zbytkové napětí, morfologii povrchu (drsnost, vlnitost), materiálové a mechanické vlastnosti povrchu (tvrdost, zpevnění, strukturní stav), přítomnost povrchových a podpovrchových vad.

Mezi nejvýznamnější ukazatele spadající do označení integrita povrchu patří: makrogeometrie obrobené plochy (odchylky tvaru), mikrogeometrie obrobené plochy (drsnost povrchu), změny fyzikálně-mechanických vlastností povrchové vrstvy (tvrdost, mikrotvrdost, zpevnění), zbytková napětí pod obrobeným povrchem, fyzikálně chemický stav povrchu. „Tyto ukazatele vytvářejí předpoklady ovlivnění únavové pevnosti, odolnosti proti opotřebení, protikorozi stability, přesnosti lícování atd. Dále mají velký význam pro dynamicky namáhané součásti a části podléhající opotřebení.“ [2]



Obr. 1. Šest skupin klíčových faktorů, které definují integritu obrobeného povrchu [3]

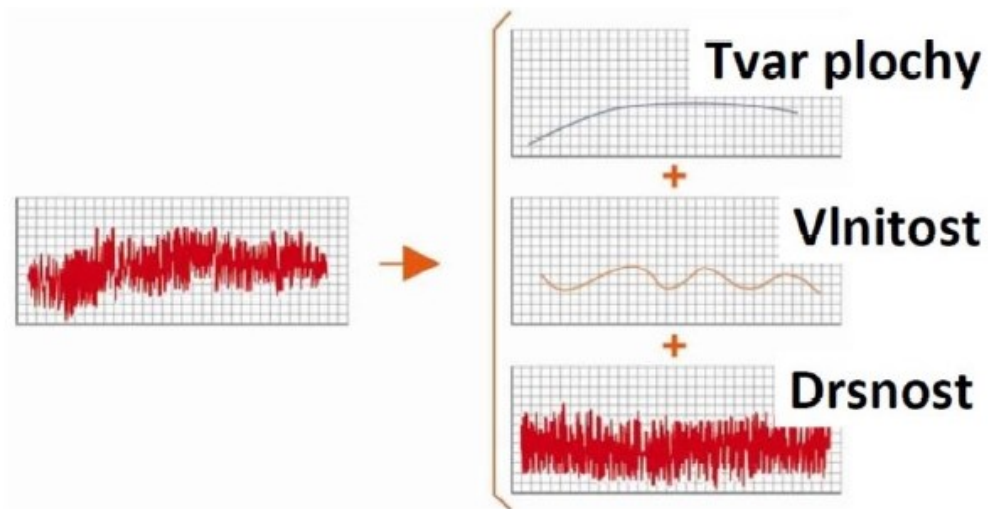
„Vztah mezi jakostí povrchu a funkčními požadavky u významných a důležitých ploch není zatím obecně dobře pochopen. To proto, že nejsou definovány údaje o funkci plochy, které by měly být popisovány a vyjádřeny v pojmech a parametrech výrobních procesů. Je totiž nutné nejdříve stanovit, co a jak specifikovat, aby se dala vyjádřit odolnost hodnocené plochy proti známému namáhání, např. proti opotřebení, únavovému namáhání, korozi apod.“ [4]

## 1.1 Struktura povrchu

Při zběžném prohlédnutí obrobeného materiálu můžeme říct, že zkoumáme jeho strukturu. Struktura povrchu se však skládá z několika částí, z drsnosti, vlnitosti, tvaru a vad povrchu materiálu, které společně určují celkovou strukturu povrchu.



### 1.1.1 Geometrická přesnost



Obr. 2. Obecný tvar plochy a jeho součásti [5]

„Odchytky od ideální rovinnosti součástky mohou vznikat při přípravě povrchu nebo výrobě součástí. Po opracování je povrch zvlněn makronerovnostmi a nástrojem vytvářené rýhy považujeme za mikronerovnosti.“ [6]

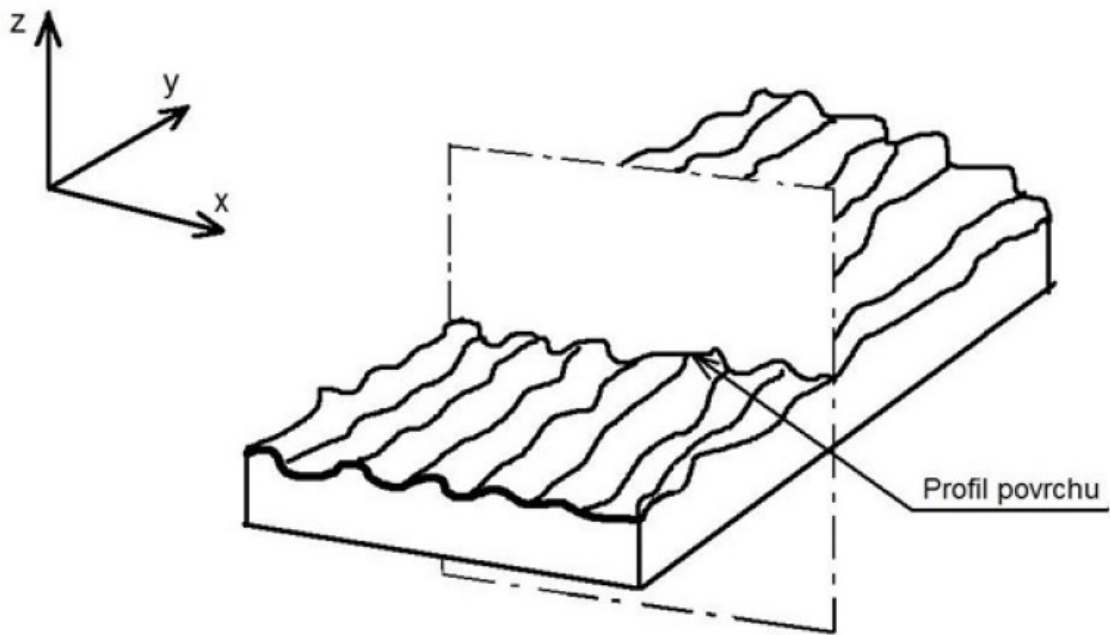
„Makronerovnost - rozlehlejší periodická nerovnost (vlnitost povrchu) – nejčastěji způsobují vibrace soustavy Stroj - Nástroj - Obrobek – Prostředí.

Mikronerovnost - jemná nerovnost (drsnost povrchu) - je dána stopami, které zanechává řezný nástroj, případně brusivo.“ [7]

U obrobených povrchů ploch se tyto nerovnosti navzájem překrývají (je třeba je vyfiltrovat). Vady povrchu způsobené náhodným poškozením či nešetrným zacházením (rýhy) nebo vady materiálu (trhliny, póry) se do geometrické struktury povrchu nezahrnují.

### 1.1.2 Profil povrchu

„Profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny. V praxi se obvykle volí rovina kolmá k rovině rovnoběžné se skutečným povrchem ve vhodném směru.“ [8]



Obr. 3. Profil povrchu [9]

Tvar - Je charakterizován největšími nerovnostmi profilu povrchu, které vznikají bez ohledu na drsnost a vlnitost. Úchylky tvaru povrchu nejčastěji způsobuje nedostatečně tuhé upnutí obráběné součásti nebo úchylky (nepřímost) vodících ploch strojů, případně deformace součásti při vyšších teplotách řezání.



Obr. 4. Obecný tvar povrchu [7]

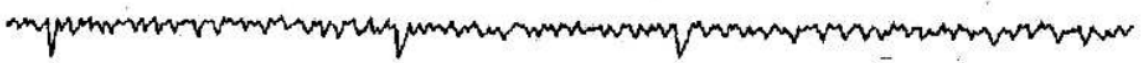
Vlnitost - Představuje rozměrnější nerovnosti, na kterých je superponována drsnost; většinou jsou způsobeny kmitáním nebo deformací obrobku, případně pnutím v materiálu součásti. Vlnitost je přisuzována především vlastnostem obráběcího stroje, např. nevyváženosti brousícího kotouče, nepřesnostem vodících šroubů, nedostatečné tuhosti apod.



Obr. 5. Vlnitost povrchu [7]

Drsnost - Jedná se o nejmenší nerovnosti vznikající v procesu výroby, např. působením řezného nástroje nebo brousícího zrna. Drsnost je spíše důsledkem metody dokončování než působením obráběcího stroje. Řezný nástroj zanechává na povrchu obrobku stopy, uspořádání stop má periodický nebo náhodný charakter. Působením tzv. odtrhávání mikro-

částic materiálu při obrábění, zbytků nárůstků na břitu a malých vad na špičce nástroje vznikají i jemnější složky struktury povrchu.



Obr. 6. Drsnost povrchu [7]

Vady povrchu – jsou nežádoucí, avšak jsou nedílnou součástí všech výrobních procesů, nejen při obrábění. Může se jednat o škrábance či naraženiny vzniklé při manipulaci nebo o povrchové praskliny a trhliny (vzniklé například již při výrobě odlitku), které se předem nedají ovlivnit a jsou detekovány až při vizuální kontrole opracovaného výrobku. Je však nutné si uvědomit, že tyto vady se nezahrnují do vyhodnocování drsnosti povrchu, protože jak definice uvádí, nejsou to nerovnosti povrchu, které nevyhnutelně vznikají při výrobě nebo jejím vlivem.

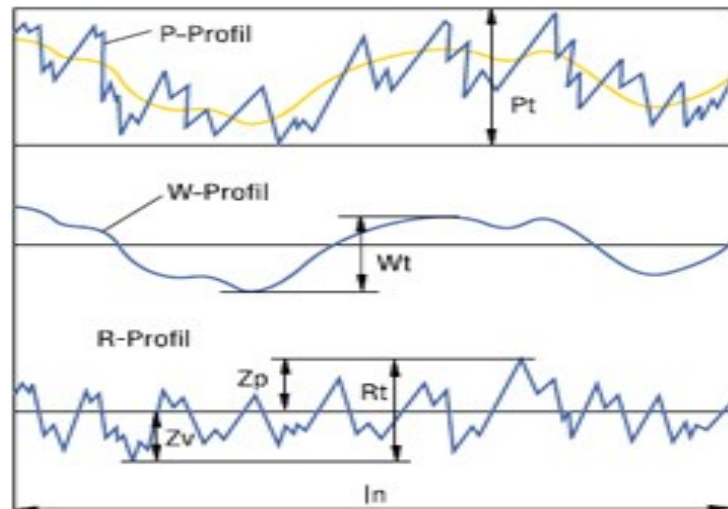
### 1.1.3 Parametry povrchu profilu

Strukturu povrchu vytvářeného na obrobku je možno dle normy ČSN EN ISO 4287 popsat pomocí tří základních parametrů:

Základní profil (P – profil): je základem pro hodnocení parametrů základního profilu, získá se potlačením krátkovlnných složek profilu povrchu filtrem  $\lambda_s$ .

Profil drsnosti (R – profil): je profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru  $\lambda_c$  a úplně nejkratších vlnových složek  $\lambda_s$ .

Profil vlnitosti (W – profil): je profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu  $\lambda_f$  a filtru profilu  $\lambda_c$  na základní profil potlačující dlouhovlnné složky filtrem  $\lambda_f$  a krátkovlnné složky filtrem profilu  $\lambda_c$ .



Obr. 7. Parametry  $P$ ,  $W$ ,  $R$  na profilu povrchu [9]

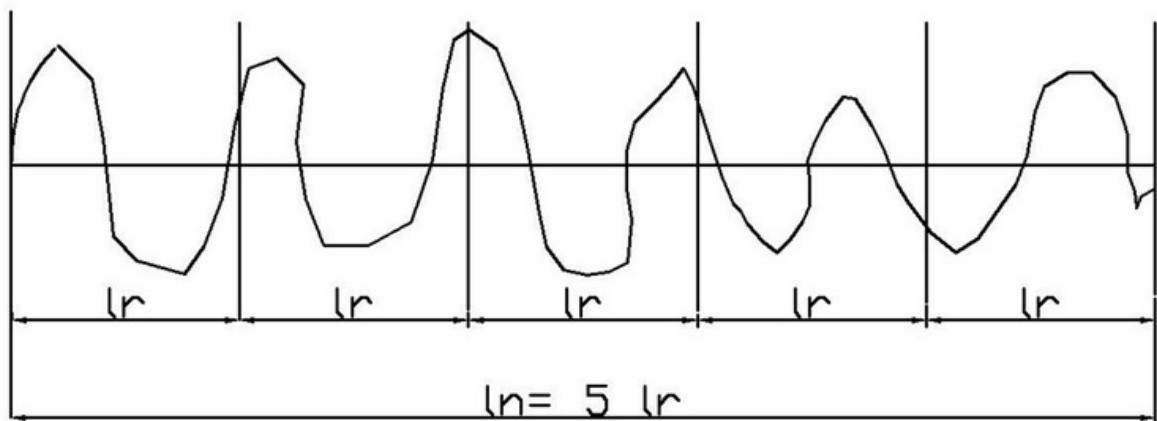
Pro objektivní kontrolu povrchu má velký význam volba správné hodnoty základní délky  $l_r$ , díky které se rozlišují nerovnosti charakterizující vyhodnocovaný profil. Základní délka musí být dostatečně dlouhá, aby v jejím rozsahu byly měřené parametry statisticky významné, ale současně ne natolik, aby zahrnovala irelevantní detaily profilu. Výběr vhodných základních délek doporučuje norma ČSN EN ISO 4288.

Základní délka  $l_r$  - je délka ve směru osy  $X$  použitá pro rozpoznání nerovnosti charakterizující vyhodnocovaný profil.



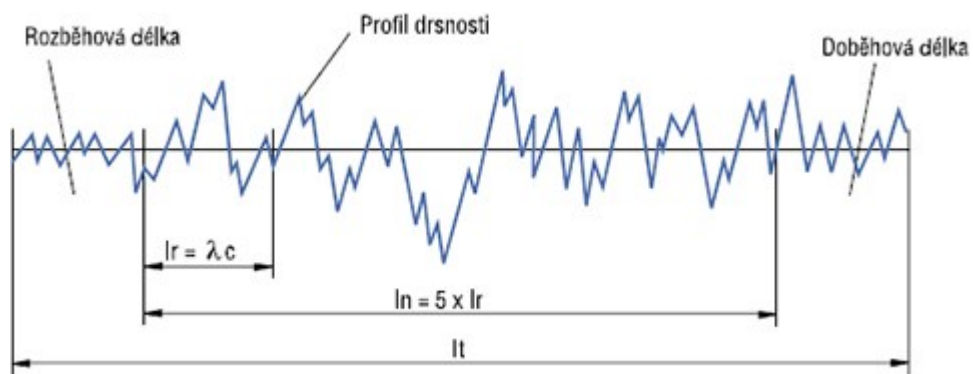
Obr. 8. Základní délka [9]

Vyhodnocovaná délka  $l_n$  (vyhodnocovaná délka pro R-profil, parametr drsnosti) - obsahuje 5 základních délek  $l_r$ . Pro jiný počet délek se musí tato hodnota předepsat.



Obr. 9. Vyhodnocovaná délka  $l_n$  [9]

Délka snímání - délka dráhy měřicího hrotu  $l_t$  (traverse length),  $L$  odpovídá vyhodnocované délce zvětšené o krátký rozběh ( $L_r$ ) a doběh ( $L_d$ ), které jsou určeny k vyloučení mechanické a elektrické nestability režimu měřicího systému.



Obr. 10. Délka dráhy měřicího hrotu [10]

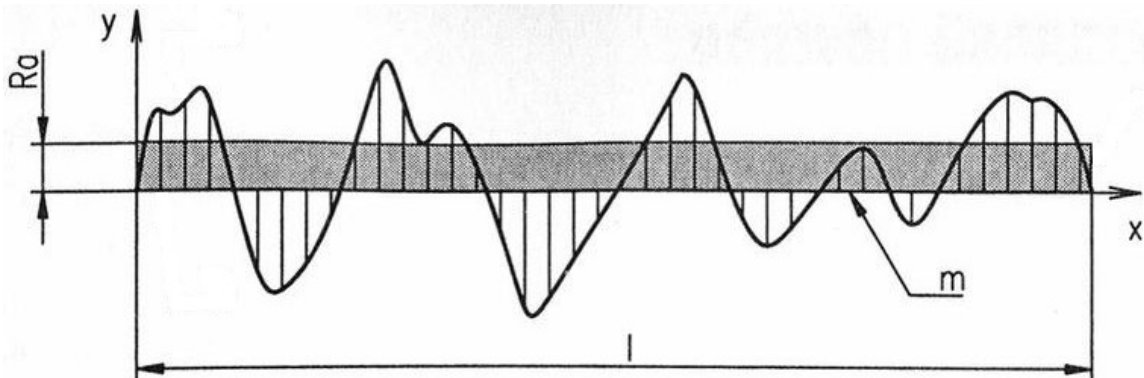
Popis základních parametrů R-profilu, tedy profilu drsnosti.

$R_a$  - Střední výška nerovnosti profilu - Střední hodnota všech odchylek od střední čáry profilu na vyhodnocované délce, bez ohledu na jejich vertikální směr. To znamená, že pomocí hodnoty  $R_a$  nelze určit, zda odchylky mají charakter výstupků nebo prohlubní. Hodnota  $R_a$  není významně ovlivňována ojedinělými odchylkami, což znamená, že také existuje riziko zanedbání velkého výstupku nebo rýhy. Struktura povrchu se může jevit velmi odlišně, ale přesto může vykazovat stále stejnou hodnotu  $R_a$ . Vzorec:

$$R_a = \frac{1}{l} \cdot \int_0^l |Z(x)| dx, \quad (1)$$

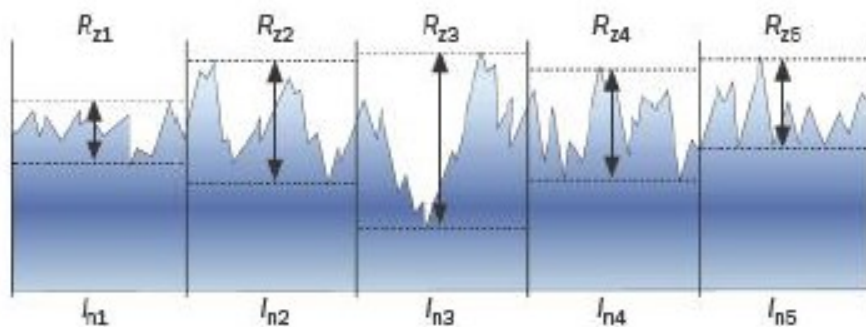
kde  $l$  je základní délka a  $Z(x)$  je absolutní hodnota pořadnic.

Střední čarou  $m$  se myslí čára probíhající středy vrcholů a prohlubní profilu, kdy součet obsahů ploch nad touto čarou je roven součtu obsahů ploch pod touto čarou.



Obr. 11. Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu  $R_a$  [9]

$R_z$  - Maximální výška profilu (průměrná) - Největší výška profilu je průměrná hodnota jednotlivých výšek profilu  $R_z$ , stanovených z největší výšky výstupku a největší hloubky prohlubně profilu na základních délkách, ze kterých se skládá vyhodnocovaná délka. Obvykle se jedná o pět základních délek, ale jejich počet se u moderních měřicích přístrojů může lišit. Hodnota  $R_z$  na základní délce, která udává největší úchylku, se označuje  $R_{zmax}$  nebo také  $R_{max}$ .

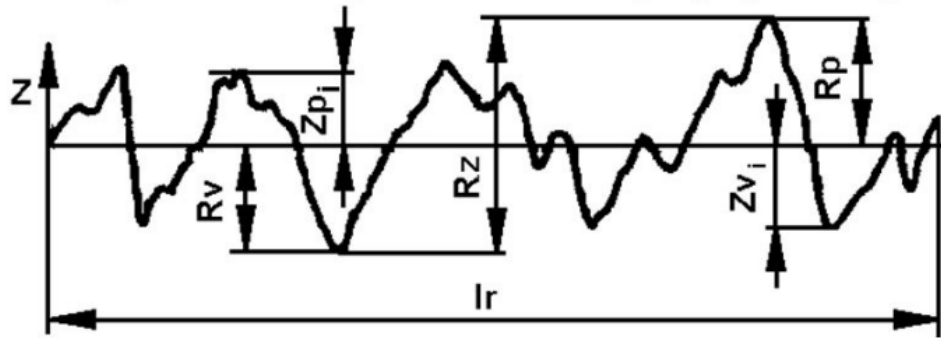


Obr. 12. Maximální výška profilu  $R_z$  [11]

Výpočet hodnoty  $R_z$ :

$$R_z = \frac{R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4} + R_{z5}}{5} \quad (2)$$

$$R_{z1} = R_v + R_p \quad (3)$$

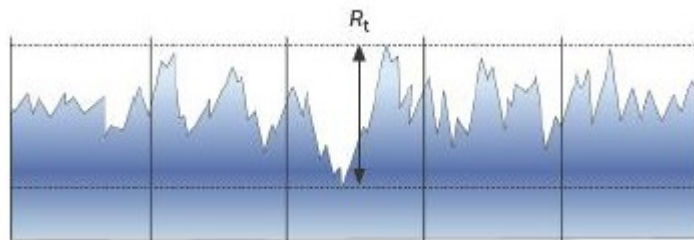


Obr. 13. Výškové profily  $R_p$ ,  $R_v$ ,  $R_z$  [12]

Přepočtení nejpoužívanějších měřených parametrů drsností  $R_a$  a  $R_z$  lze dosáhnout dosazením do jednoduchého vzorce.

$$R_z = 4 \cdot R_a \quad (4)$$

$R_t$  - Celková výška profilu - Celková výška profilu je součet výšky nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnižší prohlubně profilu na námi vyhodnocované délce (obvykle se skládá z pěti základních délek). Nezávislá hodnota  $R_t$  (nesouvisející s parametry  $R_z$  nebo  $R_a$ ) je jeden z nejpřísnějších požadavků R-profilu.



Obr. 14. Celková výška profilu  $R_t$  [11]

Mimo tyto tři nejčastěji používané parametry profilu povrchu součásti se můžeme v technické dokumentaci či odborné literatuře setkat s dalšími značeními.

$R_p$  - Největší výška výstupku profilu - výška nejvyššího výstupku profilu v rozmezí základní délky.

$R_v$  - Největší hloubka prohlubně profilu - hloubka nejnižší prohlubně profilu v rozmezí základní délky.

$R_c$  - Průměrná výška prvků profilu - průměrná hodnota všech výšek prvků profilu v rozmezí základní délky.



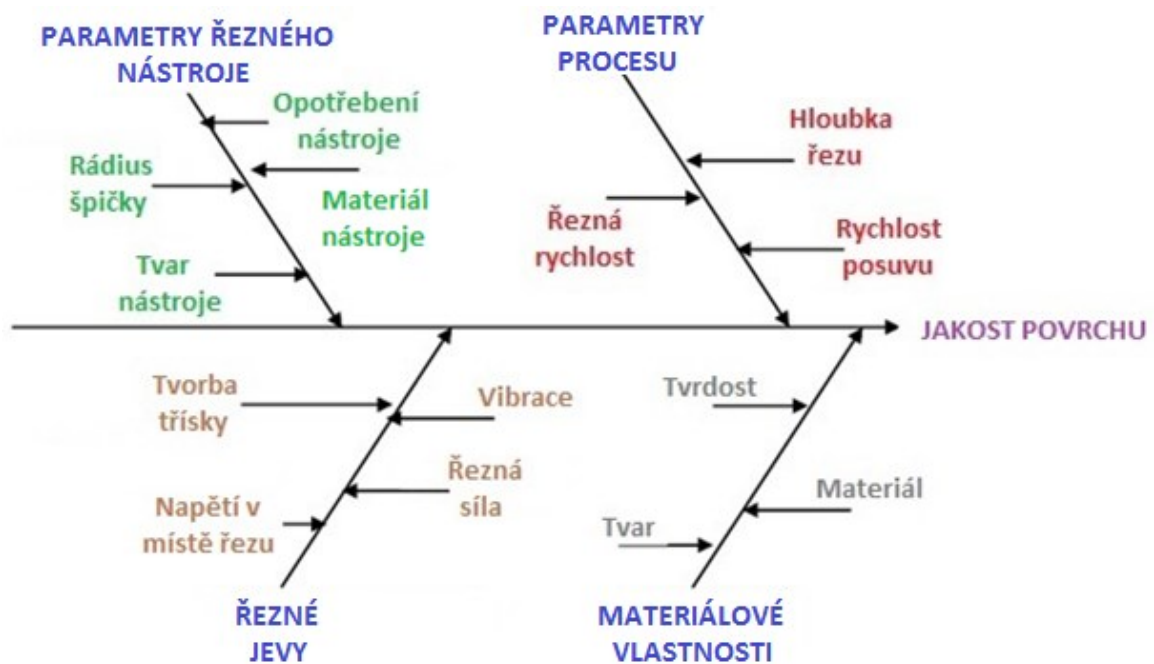
$Rq$  - Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu - kvadratický průměr pořadnic  $Z(x)$  v rozmezí základní délky.

Všechny výše uvedené hodnoty se udávají v  $\mu\text{m}$ .

$Rmr$  - Materiálový poměr - Je jedním z důležitých parametrů pro hodnocení povrchů v praxi. Nazývá se tzv. materiálovým poměrem (symbolické označení  $Rmr$ ). Je poměrem délky nosné plochy v kterékoliv hloubce profilu k celkové délce profilu. Vyjadřuje se nejčastěji v procentech.

## 2 ČINITELE OVLIVŇUJÍCÍ JAKOST POVRCHU

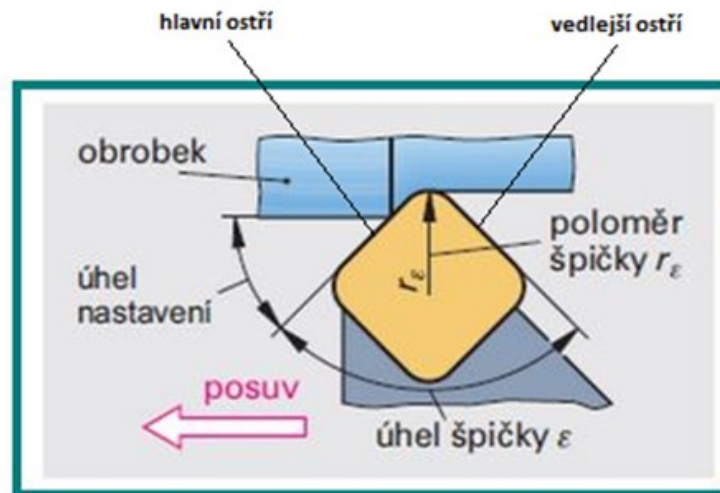
Pro dodržení jakosti vyráběného dílu je nutno brát v potaz spoustu faktorů podílejících se na tvorbě obrobeného povrchu. Níže jsou uvedeni činitelé, díky kterým jsme při dodržení zavedených poznatků schopni vyrobit přesnou součást dle technologického a konstrukčního zadání. Mezi tyto činitele patří i člověk (pracovník). Materiál se ne vždy chová dle tabulkových hodnot a učebnicových předpokladů. Proto je v praxi zapotřebí jistých zkušeností a správného odhadu při přizpůsobování výroby pro úspěšné dokončení výrobku.



Obr. 15. Fishbone diagram znázorňující faktory ovlivňující jakost povrchu [13]

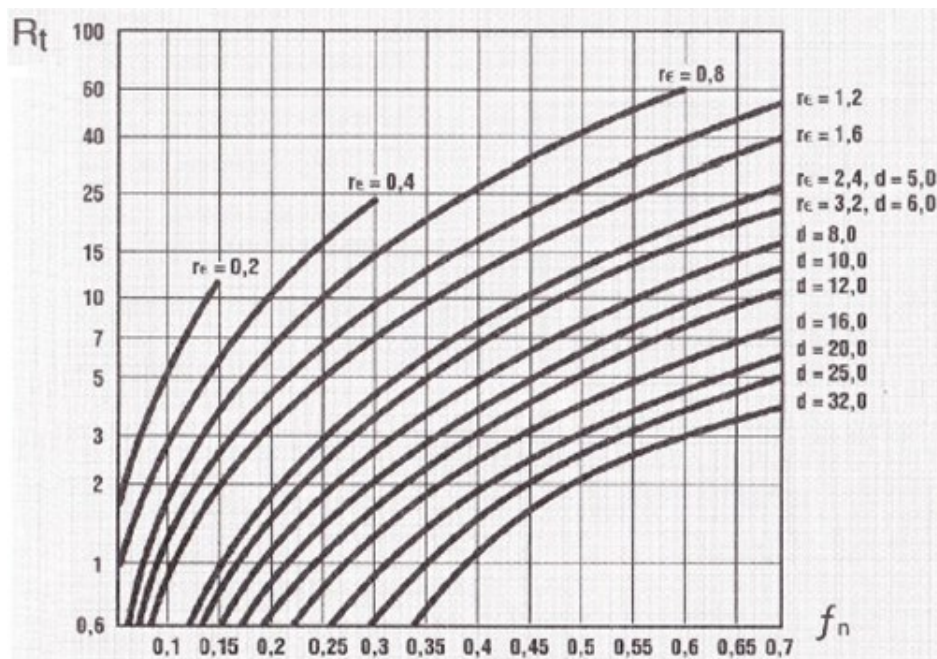
### 2.1 Parametry řezného nástroje

Rádus špičky - špičkou nástroje je myšlena malá část ostří nacházející se na spojnici hlavního a vedlejšího ostří. Zaoblení této spojnice se nazývá rádus špičky, označuje se  $r_E$ . Například u soustružnického nože je nejčastěji používán rádus v hodnotě 0,4, 0,8 a 1,2.



Obr. 16. špička soustružnického nože (s výměnnou břitovou destičkou) [14]

Poloměr špičky spolu s rychlostí posuvu určuje při soustružení nejmenou drsnost výsledného povrchu.



Obr. 17. Teoretické hodnoty  $R_t$  pro určité kombinace posuvu a poloměru špičky [15]

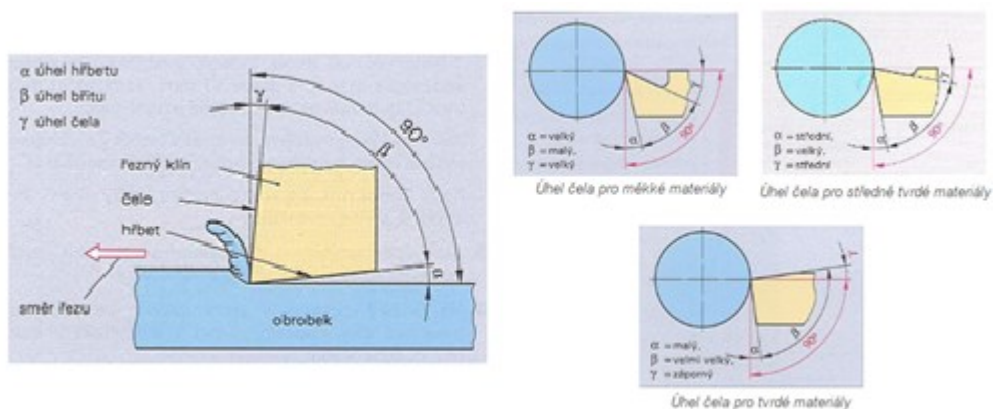
Materiál nástroje - základní pravidlo pro výběr vhodného nástroje je skutečnost, že materiál nástroje musí být tvrdší, než je materiál obráběného dílu. Požadavky na materiál nástroje jsou vysoká tvrdost (i za zvýšené teploty), odolnost proti otěru, stálost rozměrů a tvaru při tepelném zpracování, dostatečná houževnatost. Nástrojové materiály se rozdělují

do následujících skupin. Oceli – (uhlíkové, slitinové), slinuté karbidy, keramické materiály, diamant, boridy, nitridy. Tyto materiály se používají na výrobu výměnných destiček, ne pro výrobu těl nástrojů (držáků).



Obr. 18. Ukázka nástrojových materiálů v podobě výměnných destiček [16]

Tvar nástroje - výsledný vzhled a tedy i drsnost povrchu konečného výrobku do velké míry ovlivňuje tvorba třísky, kterou nejvíce ovlivňuje geometrie nástroje. Při výběru nástroje pro obrábění kovů má vliv spousta faktorů, mimo jiné i geometrie nástroje. „Záleží na druhu oceli, způsobu tepelného zpracování, tvrdosti, zpevňování za studena atd. Obecně lze pro měkkí materiály doporučit úhel čela  $8^\circ$ . Pro tvrdší materiály se volí nástroj s menším úhlem čela. Pro oceli kalené je ideální úhel čela  $0^\circ$ . Úhel hřbetu se obecně volí  $16^\circ$ , pro obtížně zpracovatelné materiály  $20^\circ$ “ [17]



Obr. 19. Geometrie soustružnického nože (vhodný výběr nože dle tvrdosti materiálu) [18]

Opotřebením nástroje - je nežádoucí, avšak nevyhnutelný jev v jakémkoliv způsobu obrábění, otupený břit má za následek vytrhávání vláken matrice, čímž způsobuje destrukci obrobku. „Opotřebením břitu nástroje se projeví také v silových poměrech obrábění. Zvýší se řezné síly působící na nástroj a potřebný výkon vřetene bude stoupat. Opotřebením nástroje má za následek výrobu nepřesných výrobků. Kdyby otupení nadále stoupalo, může nastat i nežádoucí destruktivní lom nástroje.“ [17]



Obr. 20. Možnosti opotřebení nástroje [19]

## 2.2 Parametry procesu

Tři níže uvedené činitele, které spolu úzce souvisí, zahrnujeme do jednoho pojmu, kterým je optimalizace řezných podmínek. Správná optimalizace řezných podmínek nám nejenom zaručí dosažení požadované jakosti povrchu, ale také ušetří peníze a mnohdy i čas při výrobě. Výrobci obráběcích nástrojů udávají řezné podmínky, vzhledem k různým obráběným materiálům, přímo k danému nástroji.



Obr. 21. Příklad značení předepsaných řezných podmínek výrobcem [14]

Hloubka řezu - obecně lze říci, že obráběním takzvaně nahrubo, tedy při velké hloubce řezu, nedosahuje tak jemného povrchu jako při takzvaném najemno, tedy při malé hloubce řezu.

Řezná rychlost - u tohoto kritéria je nutné mít na paměti i ekonomický dopad, kdy je nežádoucí za cenu požadovaného povrchu na jednom výrobku zničit řezný nástroj. Vzorec pro výpočet řezné rychlosti je následující:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (5)$$

kde  $D$  je průměr v mm (soustružení - obrobku; frézování - nástroje) a  $n$  jsou otáčky v 1/min. Při větších řezných rychlostech se dosahuje nižší drsnost povrchu.



Rychlost posuvu - z parametrů stroje ovlivňujících drsnost povrchu má rychlost posuvu největší dopad na výslednou drsnost. Se zvětšujícím se posuvem úměrně roste drsnost obráběné plochy. V praxi to pak znamená, že pro lepší (nižší) drsnost povrchu zmenšíme posuv, ale zároveň musíme zvětšit řeznou rychlost. Upravením jen jednoho parametru nezískáme požadovaný výsledek.

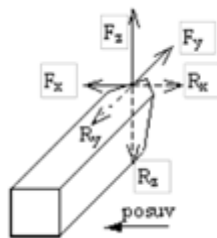
### 2.3 Řezné jevy

Vibrace - je jev pro tvorbu kvalitní jakosti povrchu nežádoucí, často vznikající špatným nastavením systému S-N-O-P (stroj – nástroj – obrobek - přípravek). Omezit vibrace lze několika způsoby, a to menším vyložením nástroje, menším vyložením obrobku, podepřením obrobku (například u soustružení koníkem), zvětšením posuvu, změnou řezné rychlosti, vhodné kombinace dvou předešlých, nebo pevnějším upnutím nástroje či obrobku.

Řezná síla - je síla nutná k překonání řezného odporu. Řezným odporem je myšlen odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa a tvorbě třísky.

Výpočet řezné síly:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (6)$$



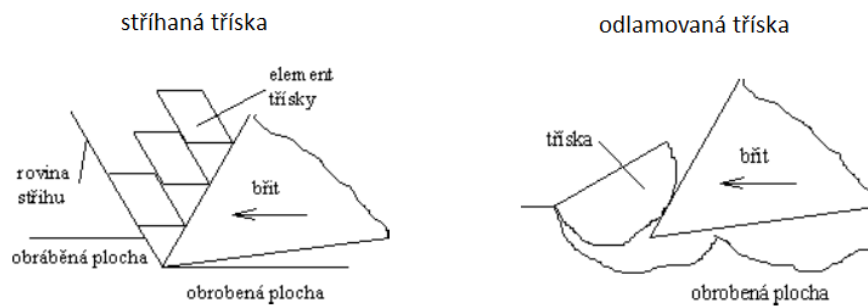
Tangenciální složka řezné síly  $F_z$  překonává odpor  $R_z$  proti hlavnímu pohybu. Je největší ze všech složek.

Axiální složka řezné síly  $F_x$  překonává odpor  $R_x$  proti posuvu.

Radiální složka řezné síly  $F_y$  překonává odpor  $R_y$  proti vnikání nástroje do hloubky.

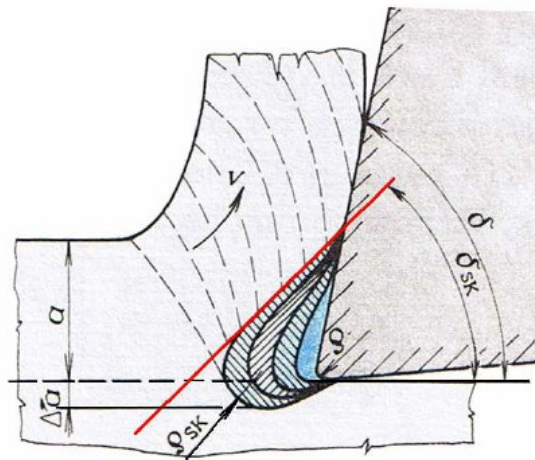
Obr. 22. Složky řezné síly  $F$  [20]

Tvorba třísky - při obrábění odebírá nástroj z obrobku materiál ve formě třísky. Podle mechanismu vzniku třísky ji lze rozdělit na stříhanou a odlamovanou. Stříhaná tříska vzniká při řezném pohybu tlakem břitu nástroje na obráběný materiál. „Tlaková síla vyvolává v materiálu kromě napětí normálových také napětí tangenciální, smyková. Jakmile v určité vrstvě materiálu dosáhne smykové napětí meze pevnosti, dojde k odstřížení jeho drobné částice (elementu, článku).“ [20] U odlamované třísky dochází k vytrhávání materiálu. Z hlediska kvalitnější jakosti povrchu je výhodnější tříska stříhaná. Jaký typ třísky vznikne, ovlivňuje hlavně druh obráběného materiálu, ale také geometrie břitu, radius špičky nože a řezné podmínky.



Obr. 23. tvorba stříhané a odlamované třísky [20]

Napětí v místě řezu - vznik nárůstků na základě sekundární plastické deformace. Vlivem tření třísky o čelo nástroje, působením vysokých tlaků v místě dotyku třísky s čelem řezného nástroje a vysoké teploty třísky dojde v místě dotyku k lokálnímu navaření třísky k čelu nástroje. Tím vznikne tzv. nárůstek. Takový nárůstek má negativní vliv na drsnost obrobeneho povrchu, protože části rozpadajícího se nárůstku ulpívají na již obrobené ploše a tím zhoršují její drsnost.



Obr. 24. Tvoření nárůstku [10]

## 2.4 Materiálové vlastnosti

### Tvrдость, materiál, tvar

V souvislosti s tímto bodem je možné se setkat s pojmem obrobiteľnosť materiálu, která zahrnuje všechny tři uvedené aspekty. Jde o srovnání různých materiálů, podle náročnosti jak časové tak ekonomické, na jejich obrobění. Obrobiteľnosť nemá žádnou veličinu, hodnoty jsou získávány porovnáváním materiálů mezi sebou nebo se vzorovým materiálem.



### 3 TEORIE MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU

Každá plocha výrobku má na výkresu předepsanou jakost. Předepisování jakostí má svůj význam, ať už z důvodu funkčnosti (dosedací plochy), estetiky (pohledová strana pro zákazníka) či výroby (každé přesnější předepsání drsnosti povrchu zvedá následnou cenu výrobku). Je tedy nutné tyto předepsané hodnoty změřit. Kontrolu lze provádět pouhým okem a hmatem, většinou je ale zapotřebí využít složitých a drahých zařízení.

#### 3.1 Charakteristika jakosti povrchu

V označení jakost povrchu je zahrnuta jak rozměrová a geometrická přesnost, tak i vlastnosti povrchové vrstvy a změny, které v této povrchové vrstvě nastávají. Každá opracovaná plocha součástky má určitý tvar, rozměr a drsnost, jinými slovy, má určitou jakost. Jakost povrchu součástky může být ovlivněna mnohými faktory (tvrdostí obrobku, řeznými podmínkami, tuhostí a pevností systému stroj – nástroj – obrobek - přípravek nebo zvoleným způsobem obrábění či zvolenou dokončovací metodou).

##### 3.1.1 Pravidla pro hodnocení povrchu dle normy ČSN EN ISO 4288

„1. Hodnocení sledované plochy provádíme pomocí hodnot, získaných z přístroje pro měření parametrů povrchu (kontaktně, nebo bezkontaktně) na sledované ploše a následným porovnáním s hodnotami požadovanými pro funkčnost sledované plochy výkresem nebo výrobní dokumentací.

2. Je-li struktura povrchu homogenní, hodnoty parametrů určených z celého povrchu měřeného vzorku nebo obrobku budou použity pro porovnání s hodnotami uvedenými na výkresu, nebo ve výrobní dokumentaci.

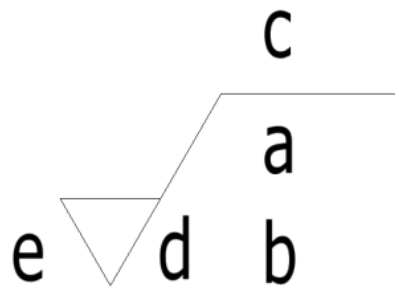
3. Je-li povrch obrobku složen z několika různých ploch s různou strukturou, budou hodnoty parametrů hodnoceny na každé ploše odděleně podle výrobní dokumentace nebo dle požadavků na výkresu.

4. Není-li specifikován směr měření, obrobek je ustaven tak, že směr řezu odpovídá největším hodnotám výšek parametrů drsnosti (např.  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_t$ ). Tento směr bude kolmý k poloze povrchu.

5. Měření je provedeno na té části povrchu, na které lze očekávat kritické (tedy maximální) hodnoty parametrů.“ [21]

### 3.1.2 Značení drsnosti povrchu na výkresech

Každá vyráběná součást má své specifické požadavky na strukturu povrchu, ať už z důvodů funkčních či optických. Proto je nutné na technologickém výkresu předepisovat drsnosti povrchu. Značka drsnosti se na výkresu obvykle umísťuje do pravého horního rohu nebo do popisového pole.



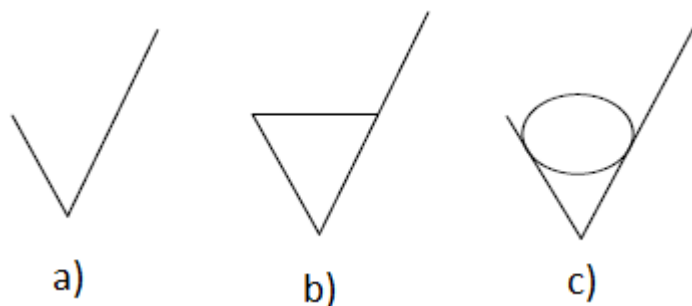
Obr. 25. Úplná značka struktury povrchu [22],

kde na obr. 25, jednotlivá písmena znamenají: a - jediný požadavek na strukturu povrchu, b - dva a více požadavků na strukturu povrchu, c - výrobní proces, směr nerovností stopy nástroje, e - přídavek na obrábění.

Požadavky na strukturu povrchu se mohou na výkresech označovat několika grafickými značkami (základní a rozšířené), přičemž každá má svůj význam.

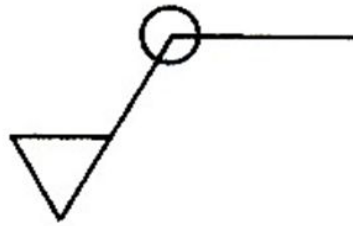
Základní značka – používá se pouze v závorce za předepsanou drsností povrchu, odkazuje na dané specifické drsnosti daných ploch (obr. 26. a).

Rozšířená značka – vyjadřuje požadavek na obrábění materiálu (obr. 26. b), nebo naopak zákaz odebrání materiálu, popřípadě povrch ponechaný ve stavu dosaženém z předchozí úpravy výrobku (obr. 26. c).



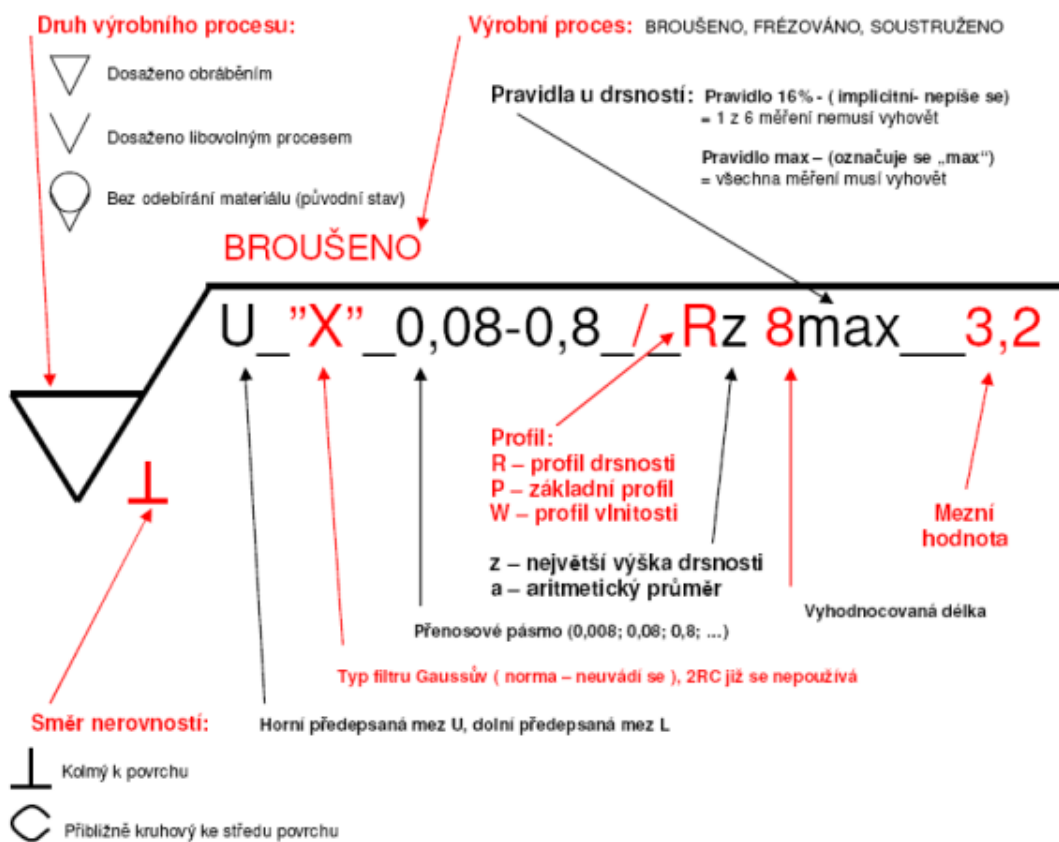
Obr. 26. Grafické značky drsnosti [23]

Pokud platí hodnota drsnosti pro celý obvod součásti, doplní se úplná značka kružnicí.



Obr. 27. Grafická značka označující odebrání materiálu s jednotnou drsností po celém povrchu [24]

Pokud je na většině povrchů součásti struktura povrchu stejná, potom se na výkresu vytvoří zjednodušený zápis struktury povrchu tak, že se za převládající značku uvede v závorce základní značka bez dalšího označení, nebo úplná značka pro určení struktury povrchu s jinými požadavky, než je na většině povrchů.



Obr. 28. Kontrolní prvky předpisu požadavků na strukturu povrchu [25]

Příklady předepisovaných drsností povrchů opracovaných dle drsnosti  $Ra$  a jejich použití:

$Ra$  0,012 - Měřicí plochy měřidel (základnách měrek, metalografické výbrusy)

$Ra$  0,025 - Funkční plochy valivých ložisek, měřicí plochy kalibrů

$Ra$  0,05 - Úložné plochy měřicích přístrojů, činné plochy kalibrů a měřidel

$Ra$  0,1 - Kluzné plochy hřídelů pro přesné uložení s malou vůlí

$Ra$  0,2 - Kluzné plochy smykadel a přesných ložiskových pouzder

$Ra$  0,4 - Vodicí plochy u obráběcích strojů, funkční plochy broušených ozubených kol

$Ra$  0,8 - Stykové plochy pro narážená a lisovaná uložení

$Ra$  1,6 - Kluzné plochy hřídelů a ložisek s občasným nebo ručním otáčením

$Ra$  3,2 - Kluzné plochy s velmi malou kluznou rychlostí a bez nároku na přesnost styku

$Ra$  6,3 - Hrubě obrobené dosedací plochy bez vzájemného pohybu, čelní plochy hřídelů a ozubených kol

Při předepisování drsnosti povrchu na výkresech je nutné mít na paměti, že hodnota drsnosti povrchu nesmí přesáhnout 1/10 hodnoty předepsané rozměrové tolerance. Například u průměru s rozměrovou tolerancí  $\pm 0,01$  mm nesmí být drsnost obrobeného povrchu  $Ra$  větší než 2  $\mu\text{m}$ , tedy ideální hodnota  $Ra$  by měla být 1,6  $\mu\text{m}$ .

### 3.1.3 Způsoby vyhodnocování drsnosti povrchu

„Při vyhodnocování platí pravidlo 16%, které říká, že povrch je považován za přijatelný, jestliže uvedenou horní mez přesáhne maximálně 16% naměřených hodnot a uvedenou dolní mez nedosáhne maximálně 16% naměřených hodnot.“ [26]

„V průběhu kontroly nesmí žádná z naměřených hodnot přesáhnout hodnotu uvedenou výkresem nebo výrobní dokumentací. Parametr je doplněn indexem max.“ [26] – tzv. pravidlo maxima.

## 3.2 Měřidla

Z důvodu náročnějších požadavků na drsnost povrchu musí být i měřicí přístroje přesnější a detailnější. Z pohledu norem ISO se 2D a 3D charakteristikami povrchu zabývají především dvě normy, a to ČSN EN ISO 4288 popisující „Pravidla a postupy pro posuzování

povrchu“ a také ČSN EN ISO 4287 popisující „Termíny, definice a parametry povrchu“. V obecném pohledu můžeme zkoumání povrchu rozdělit na dvě metody. Metoda kvalitativní (porovnávající vzorkovnici se zkoumaným povrchem) - u této metody se používají vzorkovnice, které se pouhým okem nebo pod lupou či mikroskopem porovnávají s plochou, u které zjišťujeme drsnost povrchu. Tato metoda je však subjektivní, záleží na zkušenosti pracovníka. Metoda kvantitativní (parametrická, využívající matematický popis parametrů povrchu)- pro tuto metodu se využívají tzv. profilometry, které se také nazývají drsnoměry. Tyto přístroje dokáží mimo drsnosti změřit i vlnitost a často i tvar. Výhodou těchto přístrojů je možnost nastavit různé R-parametry.

### 3.2.1 Vzorkovnice drsnosti



Obr. 29. Vzorkovnice drsnosti uložené v kazetě [27]

Pro kontrolu povrchu se používají porovnávací měřky, tzv. vzorkovnice drsnosti povrchu. Jsou to destičky nebo válečky s určitou drsností povrchu  $R_a$ , který byl dosažen specifickým způsobem obrábění (soustružení, frézování, hoblování, broušení). Dodávají se buďto v kazetách nebo v praktickém kolečku. Porovnávání probíhá zrakem nebo hmatem. Pro přesnější zhodnocení povrchu je možné použít lupy či komparační mikroskopy, díky kterým můžeme pozorovat současně vzorek i výrobek. Rozlišovací schopnost mikroskopu je přibližně 1  $\mu\text{m}$ , hmatem pak lze v ideálních případech rozlišit drsnost dvou ploch obro-

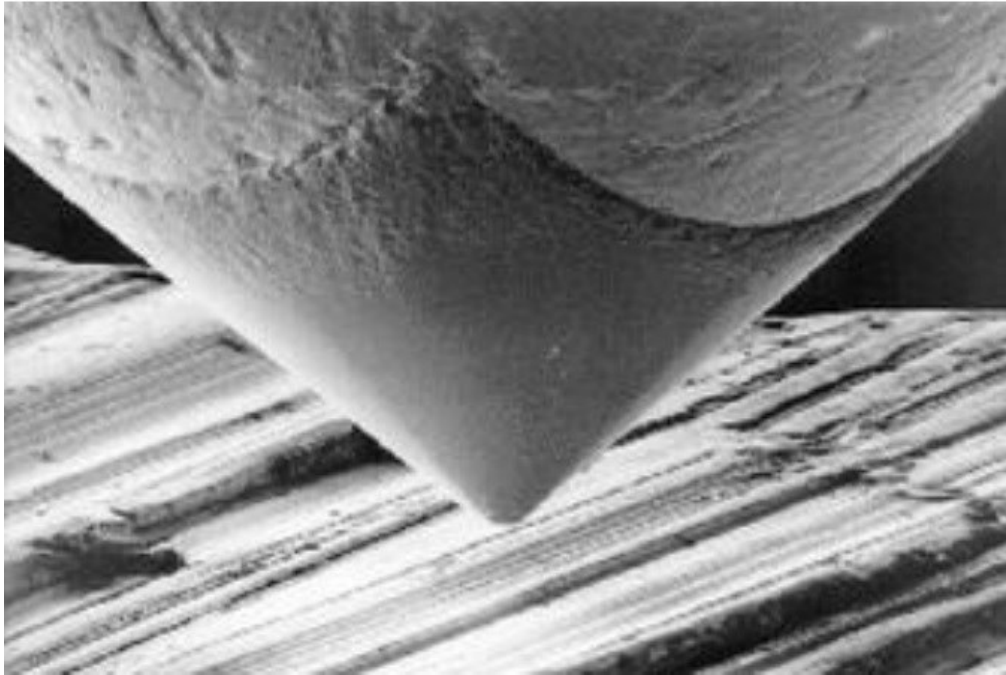
bených stejným způsobem až 0,01 mm. Je nutné dát pozor, aby se povrch dosažený určitým způsobem obrábění porovnával se stejně opracovaným vzorkem (frézování - frézování).



Obr. 30. Kotoučová vzorkovnice drsnosti [23]

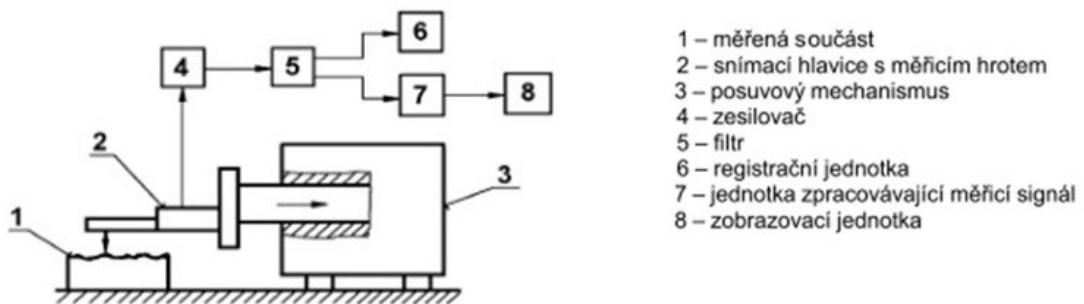
### 3.2.2 Kontaktní měřicí přístroje (dotykové drsnoměry)

Dotykové drsnoměry, poprvé používány již od dvacátých let minulého století, jsou v současné době (s menšími či většími úpravami) velmi rozšířeným způsobem pro zjišťování drsnosti povrchu. Práce na nich je jednoduchá a výsledek máme prakticky ihned k dispozici. Označení kontaktní (dotykové) je zde proto, že speciálně upravený hrot (zpravidla diamantový) se posouvá po povrchu měřeného dílce, čímž jsou do počítače zaznamenávány souřadnice vyhodnocované plochy. Zaoblení špičky hrotu bývá 2  $\mu\text{m}$  až 10  $\mu\text{m}$  a vrcholový úhel kužele pak 60° nebo 90° (přednostně se však volí 60° . „Filtrací podle DIN EN ISO 11562 se z nefiltrovaného primárního profilu (P-profil) získá profil drsnosti (R-profil) a profil vlnitosti (W-profil). Na těchto třech profilech jsou veličiny definovány a podle profilu analogicky označeny  $P$ ,  $R$  nebo  $W$ . Hodnocení drsnosti povrchu je tedy vícekový proces, ve kterém je nutno odstranit pomocí proložení a filtrování tvar a vlnitost povrchu.“ [22] Takto se získávají klasické profilové 2D data. Pro získání plošných 3D dat je třeba složitější techniky, vypracování 3D dat probíhá zesíťováním bodů získaných z jednotlivých profilových 2D dat. V praxi to znamená provést více měření (rovnoběžných) s pravidelnými odstupy. Po dokončení měření se data spojí a vytvoří 3D plochu.



Obr. 31. Detail diamantového snímacího hrotu [9]

Drsnoměr se skládá z části mechanické (stolek pro umístění měřené součásti, rameno se snímacím hrotem které, se pohybuje konstantní rychlostí) a z části elektronické, která slouží k transformaci mechanického signálu z pohybu hrotu po povrchu do elektronického signálu, který je vyhodnocen na číselný výsledek nebo grafický záznam tvaru povrchu). Drsnoměry mohou být pevně připevněny ke stolu a měření probíhá pak v laboratorních podmínkách za jasně stanovených kritérií (teplota, vlhkost), nebo může být drsnoměr přenosný, jehož výhodou je možnost změření součásti přímo ve výrobě (např. výrobek upnutý v čelistech soustruhu).



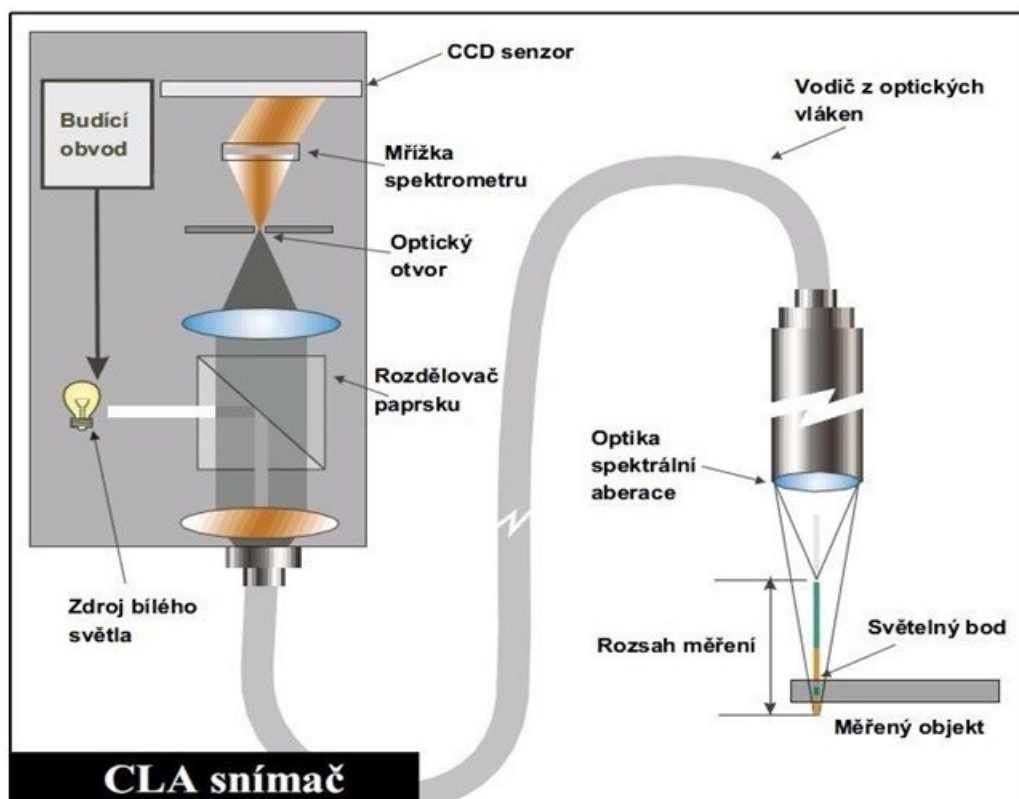
Obr. 32. Schéma dotykového drsnoměru [9]



### 3.2.3 Bezdotykové měřicí přístroje

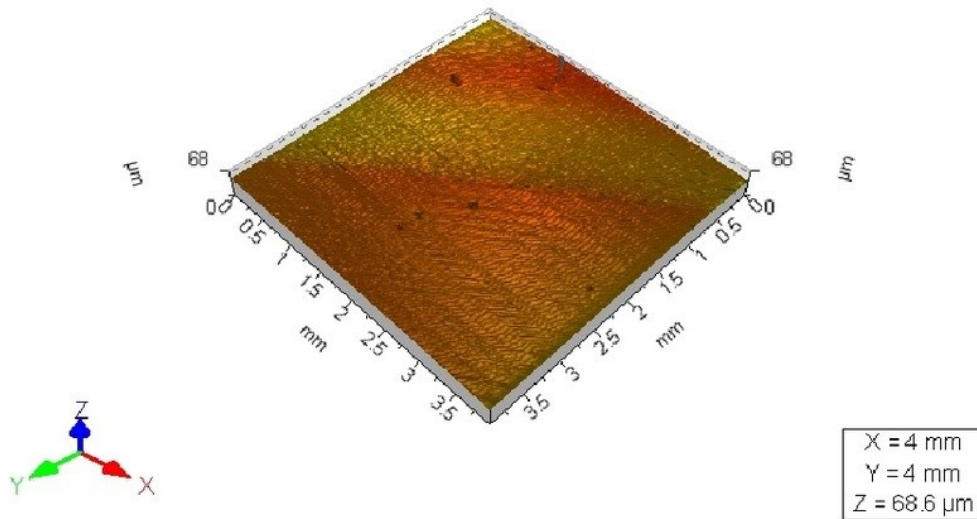
Někdy není možné použít dotykovou metodu měření (například u součástek paměťových zařízení, sestavy mikro rozměrných čoček, nebo pokud není žádoucí deformace, která je v některých případech u dotykového měření hrozbou), nebo potřebujeme zjistit drsnost v řádu 1nm. Tehdy musíme sáhnout po bezdotykových měřicích přístrojích. Už zde není hrot jako u kontaktních přístrojů, ale bezkontaktní snímač, díky kterému zjišťujeme data z povrchu součástí. Nevýhodou bezdotykových měřidel se uvádí tzv. problém ztráty dat, který je způsoben špatným odrazem paprsku (často v místech, kde se náhle mění profil). Nejčastěji jsou zde snímače CLA (Chromatic Length Aberration) a snímače laserové.

CLA snímače (Chromatic Length Aberration) - „Bílé světlo je rozkládáno a optikou je směřováno na kontrolovaný povrch. Optika rozloží světlo podle vlnových délek a v každém bodě povrchu je zaostřena jen určitá vlnová délka. Světlo odražené z povrchu prochází otvorem, který propustí jen světlo zaostřené vlnové délky. Spektrometr vychýlí světlo na maticový senzor, kde je každému bodu připravena prostorová poloha, která je následně počítačově zpracována a vyhodnocena“. [21]



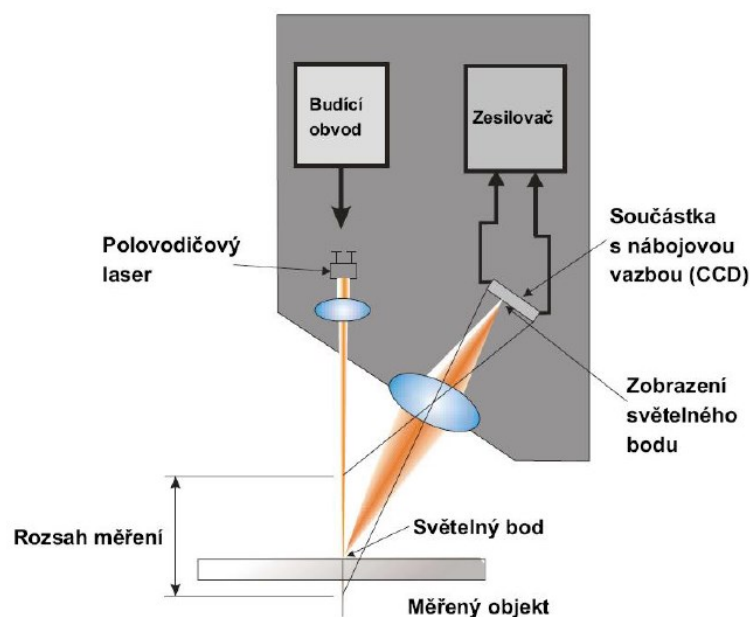
Obr. 33. Schéma CLA snímače [9]

Nasnímaná data se po dokončení měření zpracují v počítači, což nám umožní sledovat zvětšenou 3D vizualizaci měřené součástky a vyhodnotit zpracovaná data. Rozlišitelnost CLA snímačů je v  $\mu\text{m}$ .



Obr. 34. Nasnímaný 3D povrch pomocí CLA snímače [9]

Laserové snímače - „Paprsek polovodičového laseru se odrazí od měřeného povrchu do přijímacího optického systému. Paprsek je dále zaostřen na obrazovou matici, jejíž obrazové prvky byly použity pro určení polohy zaměřeného bodu.“ [18] Rozlišitelnost laserových snímačů je až 1nm.



Obr. 35. Schéma laserového snímače [9]

### 3.2.4 Další možné způsoby měření drsnosti

Mimo výše uvedené metody měření drsnosti povrchu se můžeme setkat ještě s dalšími typy měření. Metoda šikmého řezu optického, metody světelného řezu, interferenční metoda měření drsnosti povrchu, stínová metoda šikmého řezu, optická metoda měření světelného podílu. Tyto metody se také souhrnně nazývají metody s okamžitou transformací profilu. Všechny tyto metody jsou optické, bezdotykové, a tedy u nich nedochází k porušení výrobku. Pracují na principu světelného řezu. Do této skupiny měření se zařazuje i metoda mechanického šikmého řezu, zde však musíme brát v potaz, že jde o destruktivní druh zkoušky. Další možností měření drsnosti je použití plastických otisků měřeného povrchu. Jedná se o nepřímý způsob stanovení drsnosti, kdy se do vhodného materiálu (pryskyřice, termoplast) obtiskne měřený povrch, tím se získá negativní vzorek daného profilu, který se proměřuje namísto originálního výrobku.

## 4 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část seznámila čtenáře se základními pojmy, které se týkají jakosti povrchu a jeho měření. Poukázala na rozdíly mezi drsností, vlnitostí a tvarem povrchu součástí. Byly zde uvedeny parametry měření drsnosti ( $R_a$ ,  $R_z$ , ...), způsoby měření drsnosti, základní pravidla předepisování drsností na výrobních výkresech, ukázány některé předepisované drsnosti a jejich použití či vypsány možné aspekty ovlivňující právě dodržení těchto hodnot.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 POUŽITÉ PŘÍSTROJE A MĚŘENÉ VZORKY

V bakalářské práci se autor zabývá měřením a porovnáváním drsností materiálů polyetylen a ocel 19436 (nástrojová ocel), na dílenských drsnoměrech Mitutoyo Surfptest SJ-301, Mitutoyo Surfptest SJ-410 a laboratorním drsnoměru Taylor-Hobson Infra SN:535. Oba měřené materiály mají dvě měřené plochy, které jsou opracovány třískovým obráběním a to broušením a frézováním.

### 5.1 Použité měřicí přístroje

V následujících podkapitolách jsou vypsány použité drsnoměry u nichž jsou doplněny základní informace (rozsah, rychlosti měření, ...) které na těchto přístrojích lze nastavit. Pro úplnost jsou dodány i fotografie přístrojů.

#### 5.1.1 Mitutoyo Surfptest SJ-301

Přenosný drsnoměr s prachotěsným, na dotek citlivým LCD ovládacím displejem a vestavěnou tiskárnou. Odpovídá mezinárodním standardům DIN, ISO, ANSI a JIS.

Rozsah měření: osa Z 350  $\mu\text{m}$ , osa X 12,5 mm.

Rychlost měření: 0,25 - 0,5 mm/s.

Měřicí dráha (L): 0,25 - 0,8-2,5-8 mm

Cut-off (délka posuvu):  $\lambda_c$ : 0,25 - 0,8 - 2,5 - 8 mm,  $\lambda_s$ : 2,5 - 8 - 25  $\mu\text{m}$ .

Počet měřicích drah: x1, x3, x5.

Přesnost vyhodnocení výsledků: 0,01  $\mu\text{m}$ .



Obr. 36. Měřicí přístroj Mitutoyo Surfptest SJ-301

### 5.1.2 Mitutoyo Surftest SJ-410

Přenosný měřicí přístroj, umožňující měření drsnosti povrchu. Zobrazování naměřených hodnot na barevném LCD display. Vestavěná termotiskárna. Provádění analýzy odpovídající mezinárodním standardům EN ISO, VDA, ANSI, JIS, s možností vlastního uživatelského nastavení.

Rozsah měření: osa X 25 mm.

Rychlost měření: 0,05 - 1 mm/s.

Měřicí dráha (L): 0,25 - 0,8-2,5-8 mm

Cut- off (délka posuvu):  $\lambda_c$ : 0,08 - 0,25 - 0,8 - 2,5 - 8 mm,  $\lambda_s$ : 2,5 - 8 - 25  $\mu\text{m}$ .

Počet měřicích drah: x1, x3, x5.

Přesnost vyhodnocení výsledků: 0,001  $\mu\text{m}$ .



Obr. 37. Měřicí přístroj Mitutoyo Surftest SJ-410



### 5.1.3 Taylor-Hobson Intra SN:535

Drsnoměr schopný měřit vše potřebné týkající se textury povrchu. S milimetrovým rozsahem, širokou škálou výměnných snímacích ramének a patentovaným kalibračním postupem, představuje měřicí zařízení pro téměř jakoukoliv aplikaci, vyžadující mimořádnou přesnost. Zpracování a vizualizaci výsledků měření probíhá díky softwaru  $\mu$ ltra.

Rozsah měření: osa 0,1mm až 50mm

Rychlost měření: 0,25mm/s - 10mm/s

Cut- off (délka posuvu):  $\lambda_c$ : 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8 a 25mm.

Přesnost vyhodnocení výsledků: 0,0001  $\mu$ m.



Obr. 38. Měřicí přístroj Taylor-Hobson Intra SN:535

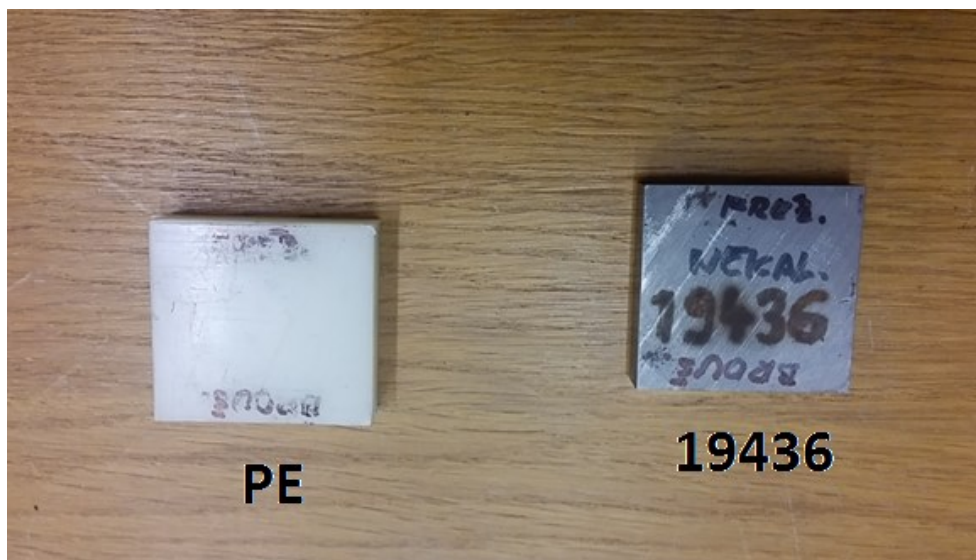
### 5.1.4 Kalibrace přístrojů

Taylor-Hobson Intra SN:535 byl kalibrován dne 15. 10. 2015 osobou David Hladík (kalibrační list dodán v příloze P I). U přístrojů značky Mitutoyo se před samotnou kalibrací musí zkontrolovat zaoblení špičky dotyku. Poté se přístroje nastaví na kalibraci a kalibrují se na přiložený kalibrační etalon.



Obr. 39. Kalibrace drsnoměru Mitutoyo SJ-301

### 5.2 Měření vzorky



Obr. 40. Měření vzorky polyetylenu a oceli 19436

### 5.2.1 Nástrojová ocel 19 436

Opracování: broušeno

opracování: frézováno

Fréza  $\phi 16$  mm

brusný kotouč  $\phi 230$  mm

Otáčky  $n = 560$  ot/min

otáčky  $n = 2550$  ot/min

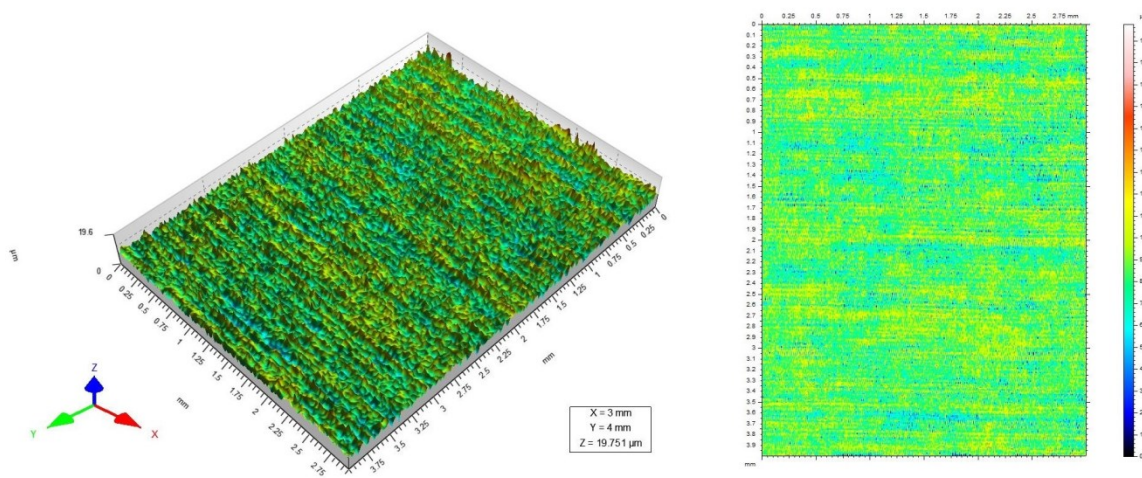
Posuv  $v_f = 65$  m/min

posuv  $v_f = 12.5$  m/min

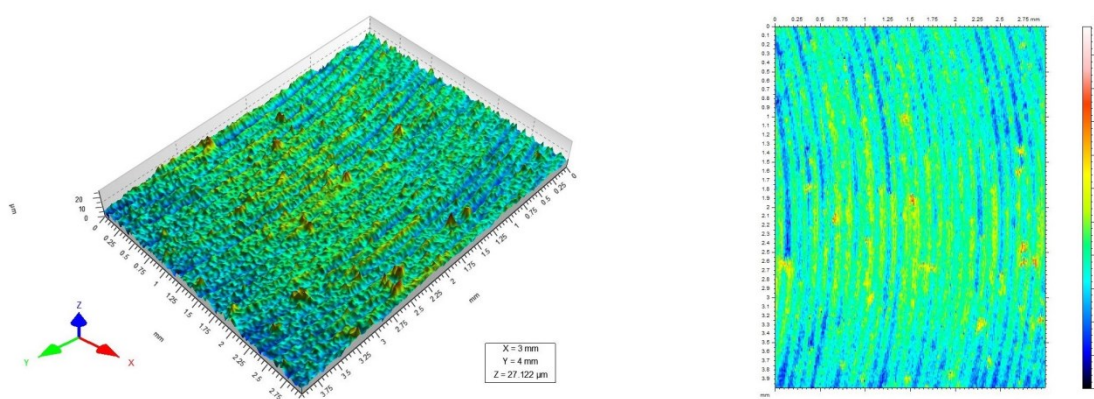
Rozměr opracované plochy:  $48,7 \times 9,9$  mm

rozměr opracované plochy:  $48,7 \times 9,9$  mm

Tloušťka třísky  $0,5$  mm



Obr. 41. Ocel 19436 broušená



Obr. 42. Ocel 19436 frézována



### 5.2.2 Polyetylen (PE)

Opracování: broušeno

Fréza  $\phi 16$  mm

Otáčky  $n = 560$  ot/min

Posuv  $v_f = 65$  m/min

Rozměr opracované plochy: 56x15,1 mm

Tloušťka třísky 1 mm

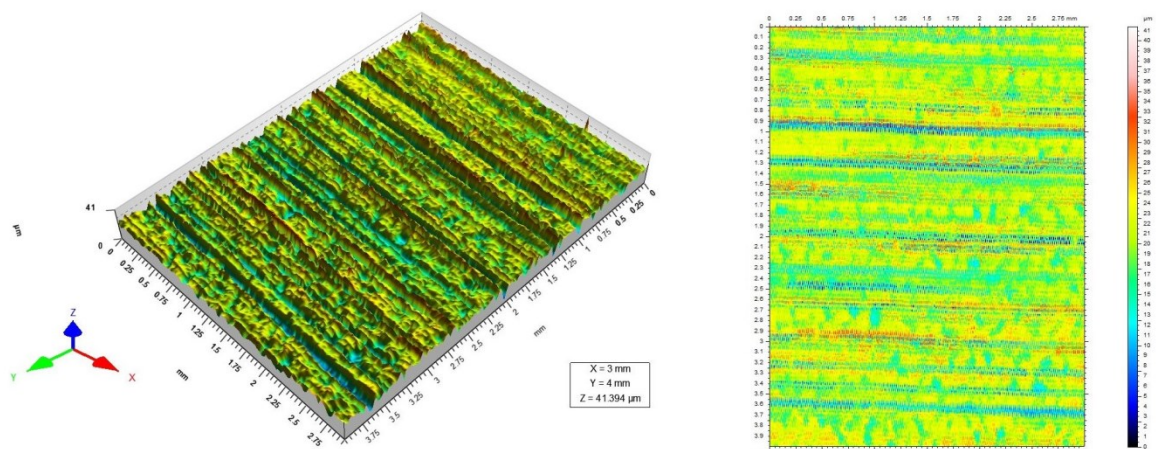
opracování: frézováno

brusný kotouč  $\phi 230$  mm

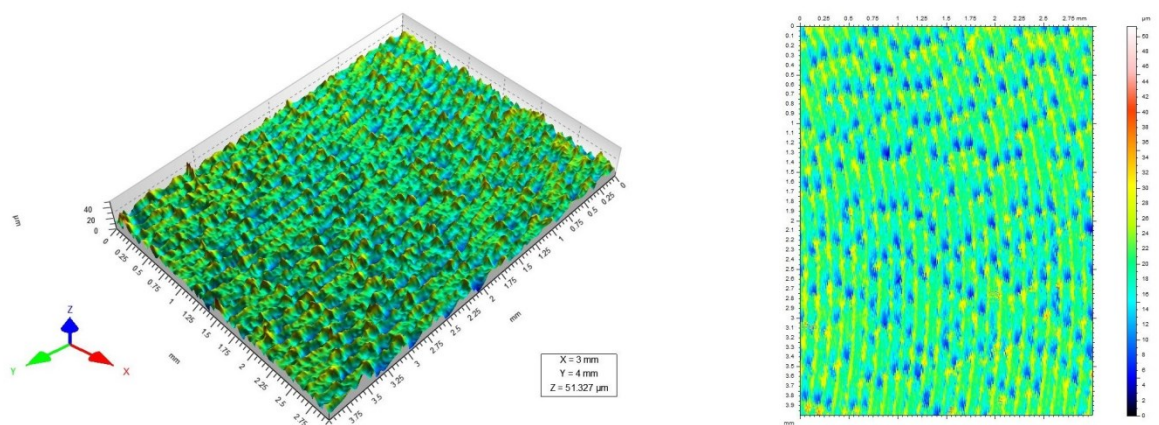
otáčky  $n = 2550$  ot/min

posuv  $v_f = 12,5$  m/min

rozměr opracované plochy: 56x15,1 mm



Obr. 43. PE broušeno

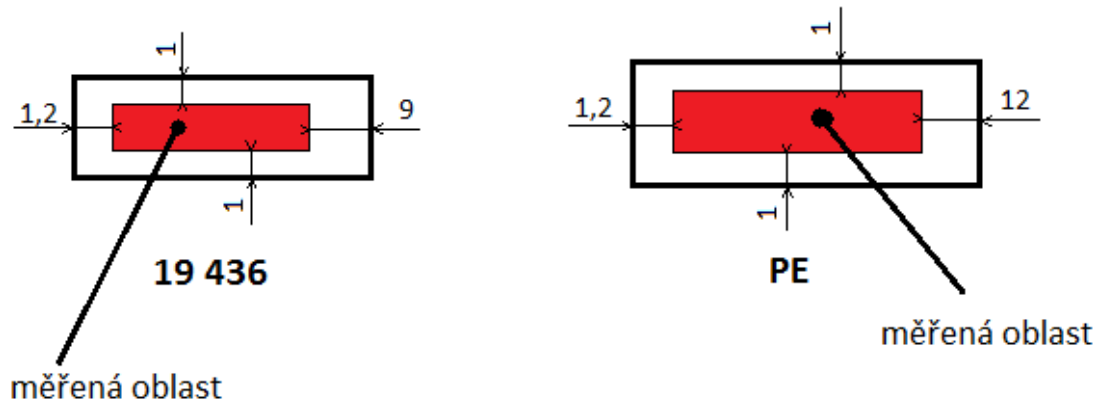


Obr. 44. PE frézováno

U obou materiálů byl při broušení použit brusný kotouč AG92/99 80 I 8 V.

### 5.2.3 Plochy aktivního měření

Z důvodů přesného sběru naměřených dat bylo potřeba vymežit rozsah měřených ploch u obou vyhodnocovaných vzorků. (Délkové jednotky jsou uvedeny v mm.)



Obr. 45. Rozmezí měřených ploch vzorků

## 6 VÝPOČTY

Po zadání naměřených hodnot do programu Minitab17 a provedení analýzy, program vyhodnotí základní statistické výsledky, mezi které patří: počet, aritmetický průměr, nejistota typu A, rozptyl, maximální a minimální naměřené hodnoty, medián a míru variability. Rozšířenou nejistotu a k ní potřebná kombinovaná a standardní nejistota typu B je potřeba dopočítat ručně.

### 6.1 Výsledky z programu Minitab

Tyto výsledky jsou dále zpracovávány pro statistické využití. Pro potřebu této práce jsou významné hodnoty  $u_a$ , které jsou použity pro výpočet rozšířené nejistoty, tou se zabývá kapitola 7.2. Vyhodnocení programem Minitab je přiloženo v příloze PVI.

Tab. 1. Popsání použitých zkratk

zkratka	význam	jednotka
n	počet	[-]
$\bar{x}$	aritmetický průměr	[ $\mu\text{m}$ ]
$u_a$	standartní nejistota typu A	[ $\mu\text{m}$ ]
s	směrodatná odchylka	[ $\mu\text{m}$ ]
$x_{\min}$	minimální naměřená hodnota	[ $\mu\text{m}$ ]
M	medián	[ $\mu\text{m}$ ]
$x_{\max}$	maximální naměřená hodnota	[ $\mu\text{m}$ ]
R	rozptyl	[ $\mu\text{m}$ ]

### 6.2 Výpočet rozšířené nejistoty

Výpočet rozšířené nejistoty je nutný z důvodu vytyčení tolerančního pole pro jednotlivá nastavení měření u jednotlivých přístrojů. Kdy rozšířená nejistota měření v kladné, i záporné hodnotě vytváří právě toto toleranční pole, které zahrnuje 99% všech měření.

$$\bar{x} \pm U(x) \quad (7)$$

Takto zpracované výsledky lze vidět v tabulkách číslo 8, 9 a 12.

### 6.2.1 Standardní nejistota typu B

Pro výpočet rozšířené nejistoty, která určuje toleranční pole pro aritmetický průměr výsledků měření, je nutné zjistit standardní nejistotu typu B. Tato nejistota se liší dle zvoleného přístroje.

$$u_{Bj}(x) = u_B(x)$$

$$u_{Bj}(x) = \frac{z_{jmax}}{k} \quad (8)$$

Tab. 2. Standardní nejistota typu B

přístroj	Z <sub>jmax</sub>	k	u <sub>Bj</sub> (x)
taylor-hobson	0,00025	√3	0,00014
Mitutoyo SJ-410	0,001	√3	0,0006
Mitutoyo SJ-301	0,01	√3	0,006

Hodnota konstanty  $z_{jmax}$  byla získána pro jednotlivé přístroje následovně. Taylor-Hobson – dovolená chyba přístroje udávaná výrobcem, Mitutoyo SJ-410 – rozlišitelnost přístroje, Mitutoyo SJ-301 – rozlišitelnost přístroje.

### 6.2.2 Kombinovaná nejistota

Po zjištění standardních nejistot typu A i B, je potřeba určit kombinovanou nejistotu, která je tvořena nejistotami typu A a B. Vztah pro výpočet je vypsán níže.

$$u_c(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)} \quad (9)$$

Tabulky vypočtených hodnot kombinované nejistoty jsou součástí přílohy PVII.

### 6.2.3 Rozšířená nejistota

Hodnota koeficientu  $k_r = 3$ , z důvodu obsáhnutí pravděpodobnosti  $P = 99\%$ .

$$U(x) = u_c(x) \cdot k_r \quad (10)$$

Tabulky vypočtených hodnot rozšířené nejistoty jsou součástí přílohy PVIII.



## 7 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Tato kapitola se zabývá porovnáváním rozptylů měření u jednotlivých měřicích přístrojů.

Naměřené hodnoty jsou vynášeny do grafu, kde na svislé ose jsou hodnoty  $R_a$  v  $\mu\text{m}$  a na ose vodorovné jsou jednotlivé nastavení parametrů. Každý graf je vytvořen pro daný přístroj a vzorek.

Pro ušetření místa jsou názvy přístrojů nahrazeny zkratkami. Jednotlivé nastavení parametrů je odlišeno čísly 1 až 6 pro Taylor-Hobson, 1 až 12 pro Mitutoyo SJ-410, 1 až 10 pro Mitutoyo SJ-301. Legenda pro výše popsané zkracování názvů a parametrů, jsou ukázány v tabulkách číslo 3, 4, 5 a 6.

Tab. 3. Zkratky přístrojů

přístroj	zkratka
Taylor-Hobson	TH
Mitutoyo SJ-410	SJ-410
Mitutoyo SJ-301	SJ-301

Tab. 4. Označení nastavených parametrů měření pro Mitutoyo SJ-410

Parametr / číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\lambda_c$ [mm]	0,8	2,5	0,25	0,8	0,8	0,8	0,8	2,5	0,25	0,8	0,8	0,8
N [-]	5	5	5	3	1	5	5	5	5	3	1	5
v [mm/s]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2
$r_\varepsilon$ [ $\mu\text{m}$ ]	5	5	5	5	5	5	2	2	2	2	2	2

Tab. 5. Označení nastavených parametrů měření pro Mitutoyo SJ-301

Parametr / číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda_c$ [mm]	0,8	2,5	0,8	0,8	0,8	0,8	2,5	0,8	0,8	0,8
N [-]	5	5	3	1	5	5	5	3	1	5
v [mm/s]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
$r_\varepsilon$ [ $\mu\text{m}$ ]	10	10	10	10	10	2	2	2	2	2

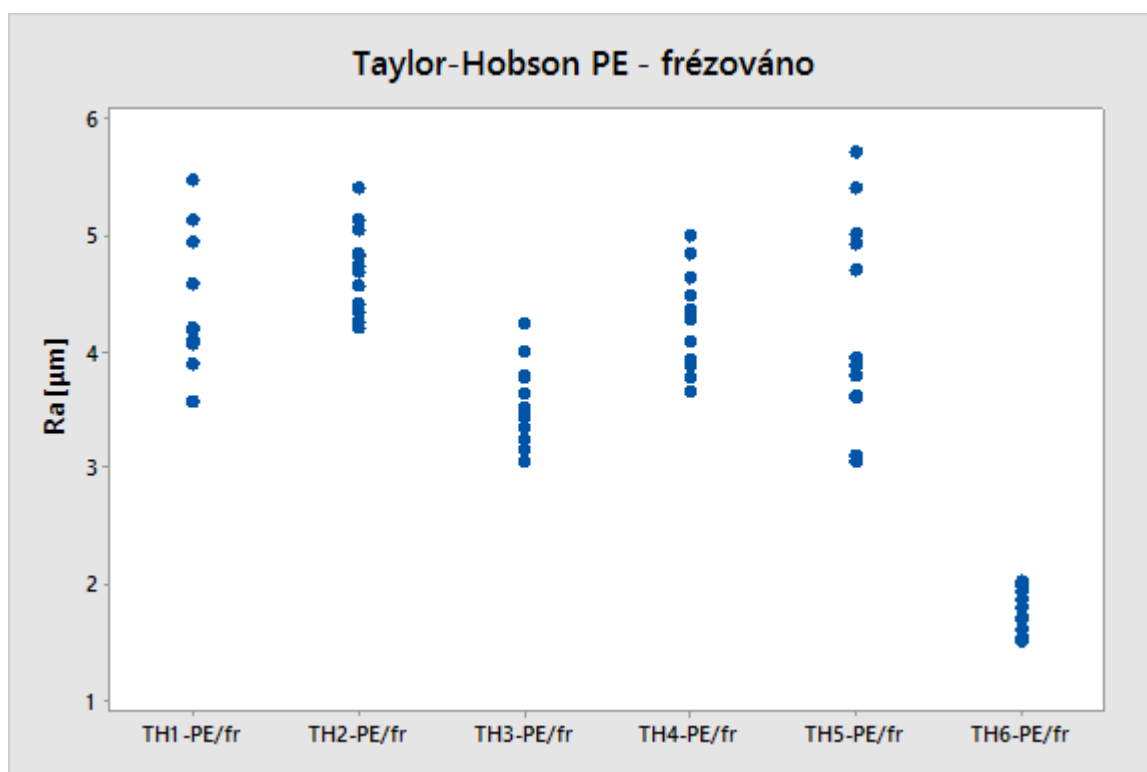
Tab. 6. Označení nastavených parametrů měření pro Taylor-Hobson

Parametr / číslo	1	2	3	4	5	6
$\lambda_c$ [mm]	0,8	2,5	0,25	0,8	0,8	0,8
N [-]	5	5	5	3	1	5
v [mm/s]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
$r_\varepsilon$ [ $\mu\text{m}$ ]	2	2	2	2	2	2

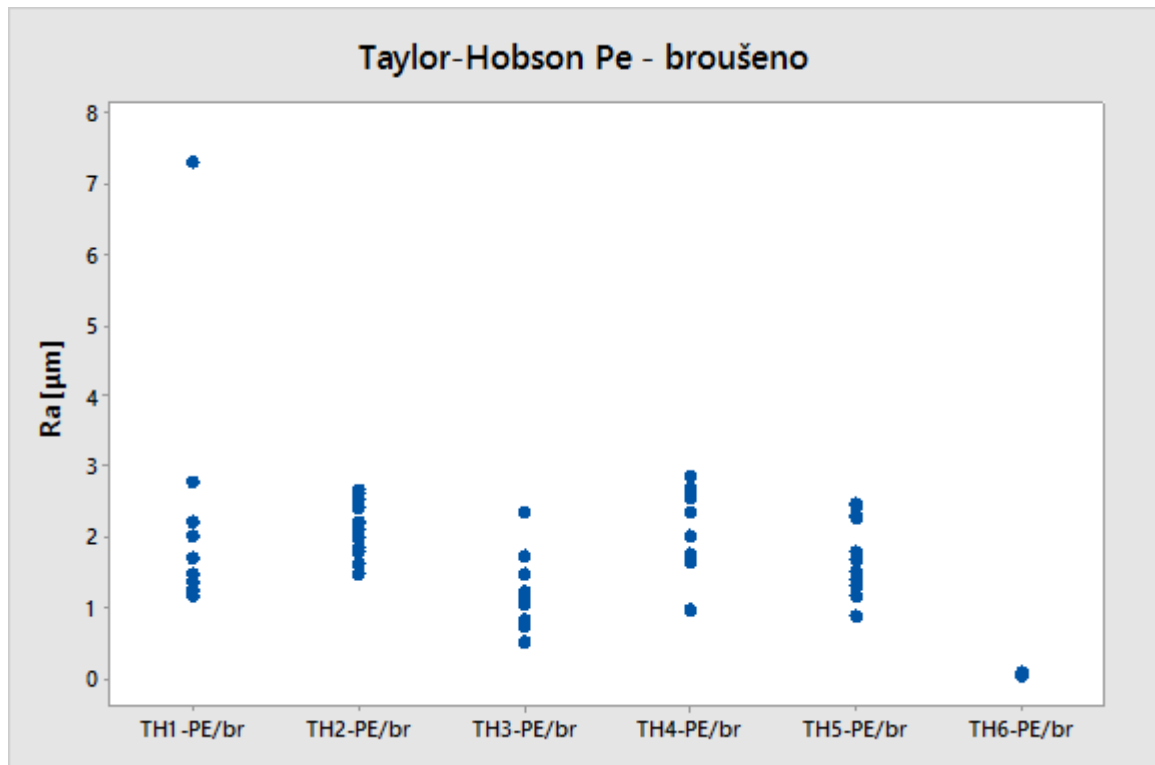
Tabulky s naměřenými hodnotami na jednotlivých přístrojích, pro všechny typy vzorků a s odlišně nastavenými parametry měření jsou součástí přílohy PII.

### 7.1 Taylor-Hobson Intra SN:535

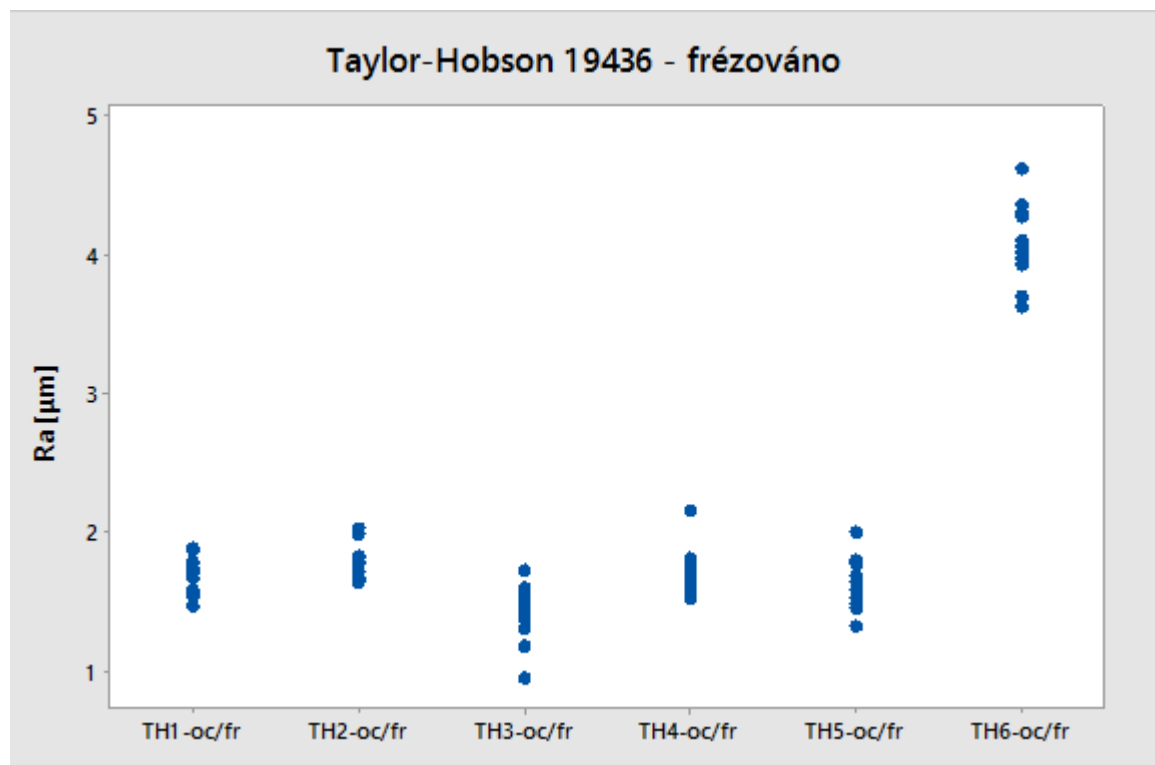
Taylor-Hobson je laboratorní drsnoměr s přesností měření 0,0001  $\mu\text{m}$ . Měření proběhlo v šesti různých nastaveních s hrotem o poloměru špičky 2  $\mu\text{m}$ .



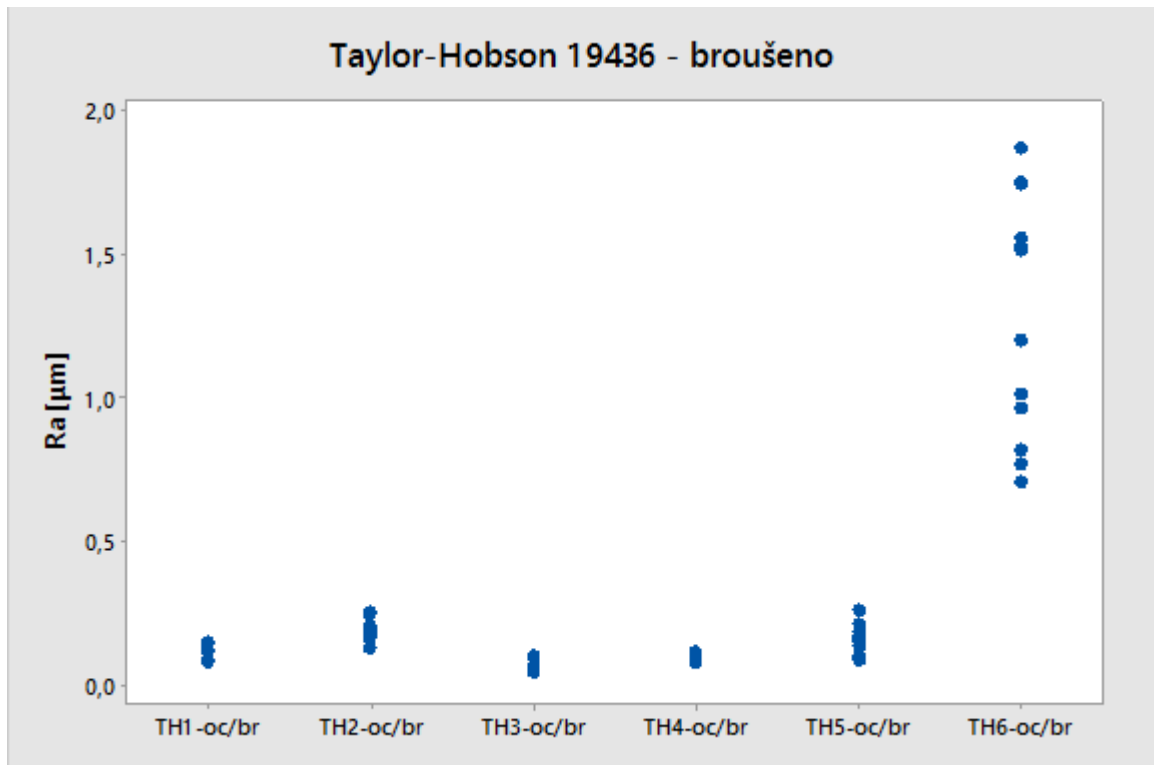
Obr. 46. Graf naměřených hodnot na přístroji Taylor-hobson, materiál PE



Obr. 47. Graf naměřených hodnot na přístroji Taylor-hobson, materiál PE



Obr. 48. Graf naměřených hodnot na přístroji Taylor-hobson, materiál 19436



Obr. 49. Graf naměřených hodnot na přístroji Taylor-hobson, materiál 19436

Jak je vidět z výše uvedených grafů, laboratorní drsnoměr Taylor-Hobson se ve výsledcích výrazně liší při parametrech měření číslo 6. Rozdíl v nastavení přístroje je v rychlosti posuvu měření o polovinu, tedy na hodnotu 0,25 mm/s. Při tomto nastavení jsou naměřené hodnoty u materiálu 19436 přibližně 3x vyšší u frézovaného vzorku a až 10x vyšší u broušeného vzorku, než u zbylých pěti měření. Kdežto u materiálu PE jsou hodnoty naopak asi 2,5x nižší u frézovaného vzorku a u broušeného vzorku je to dokonce až 20x nižší drsnost při nastavení parametru číslo 6, než u ostatních měření. Tyto hodnoty lze ověřit v příložené tabulce číslo 8. V tabulce číslo 7 jsou uvedeny nastavení, které jsou pro přístroj Taylor-Hobson nevhodná.

Tab. 7. Nevhodná nastavení

TH6-PE/br	TH6-PE/fr	TH6-oc/br	TH6-oc/br
-----------	-----------	-----------	-----------

Tab. 8. Střední hodnoty měření s tolerancí rozšířené nejistoty - přístroj TH

	PE/fr	PE/br	19436/fr	19436/br
TH/1	4,3528 ± 0,492	2,1145 ± 0,2476	1,6742 ± 0,1128	0,1157 ± 0,0213
TH/2	4,7119 ± 0,321	2,1271 ± 0,336	1,7925 ± 0,1011	0,1926 ± 0,0296
TH/3	3,5619 ± 0,303	1,138 ± 0,465	1,4125 ± 0,1785	0,0655 ± 0,013
TH/4	4,2783 ± 0,366	2,1541 ± 0,48	1,6939 ± 0,1512	0,0999 ± 0,0078
TH/5	4,2387 ± 0,774	1,7461 ± 0,456	1,6501 ± 0,1599	0,1547 ± 0,0462
TH/6	1,7534 ± 0,1563	0,0758 ± 0,0116	4,0697 ± 0,243	1,2879 ± 0,363

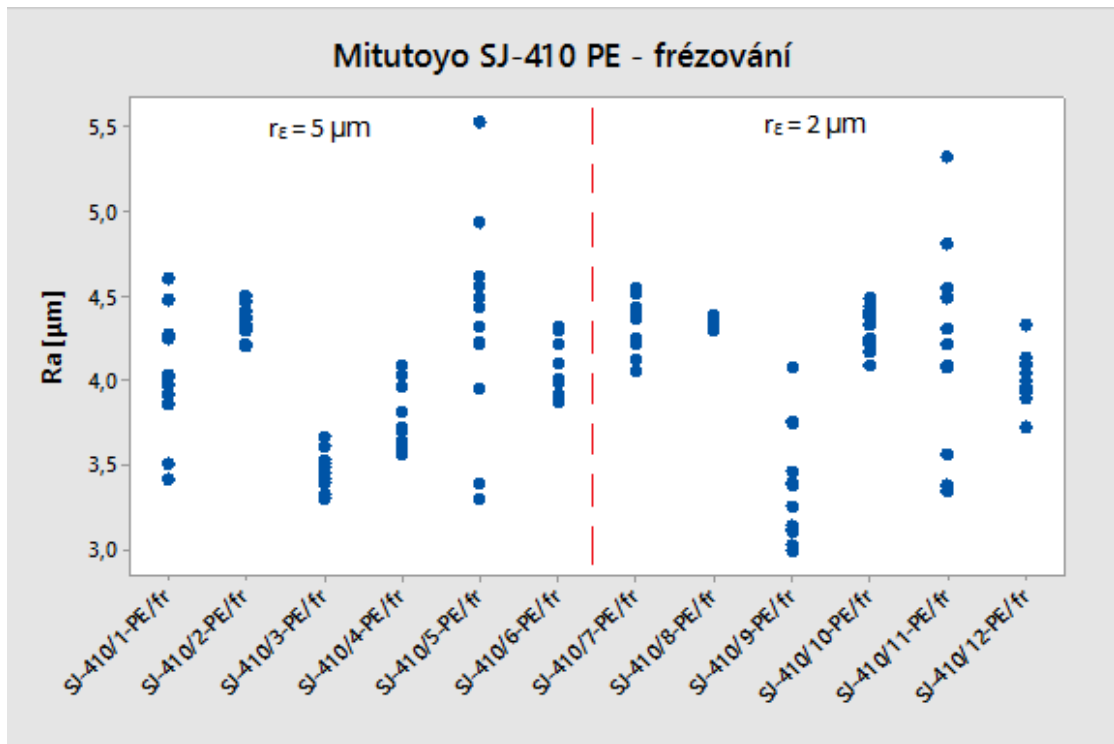
Všechny výsledky vypsány v tabulce číslo 8 jsou uváděny v  $\mu\text{m}$ .

## 7.2 Mitutoyo Surftest SJ-410

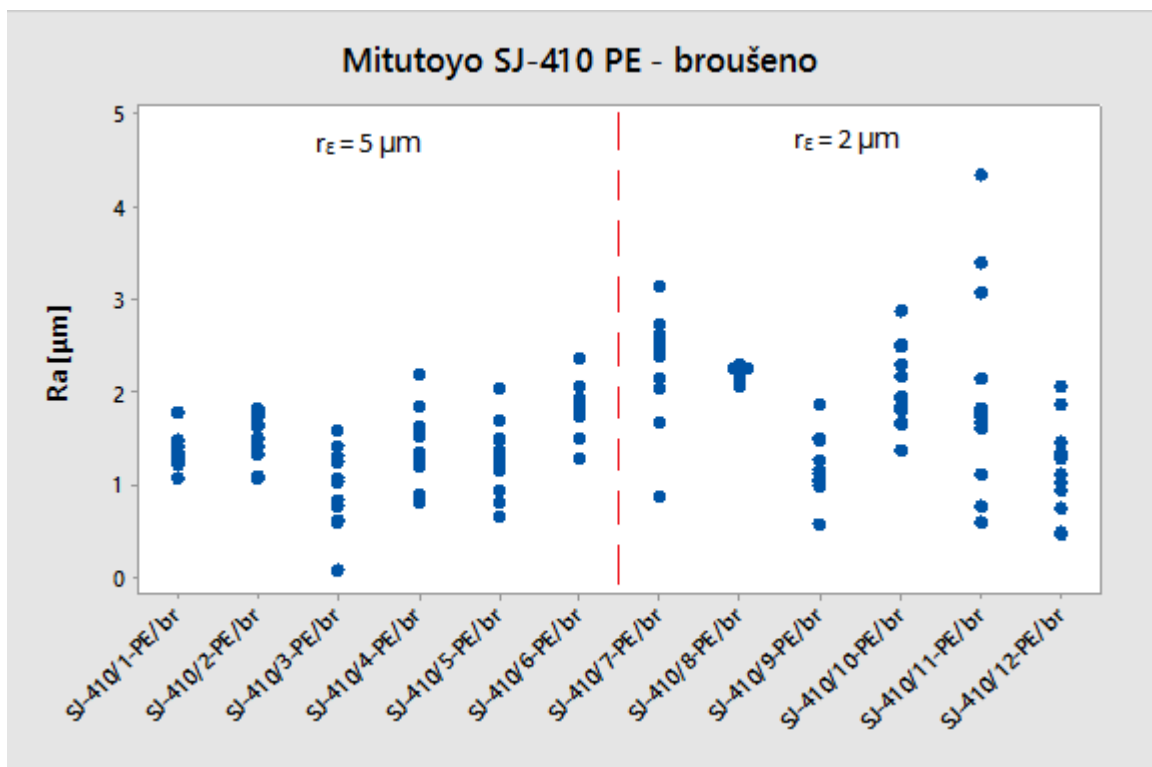
Mitutoyo SJ-410 je dílenský drsnoměr s přesností měření 0,001  $\mu\text{m}$ . Měření proběhlo v šesti různých nastaveních a to s hroty o poloměru špičky 2  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$ . Pro názornou odlišnost, které hodnoty jsou naměřeny jakým hrotem, jsou grafy rozděleny přerušovanou čarou a popiskem s informací o zaoblení špičky hrotu. V tabulce číslo 9 jsou zapsány střední naměřené hodnoty s tolerancí +/- U.

Tab. 9. Střední hodnoty měření s tolerancí rozšířené nejistoty - přístroj SJ-410

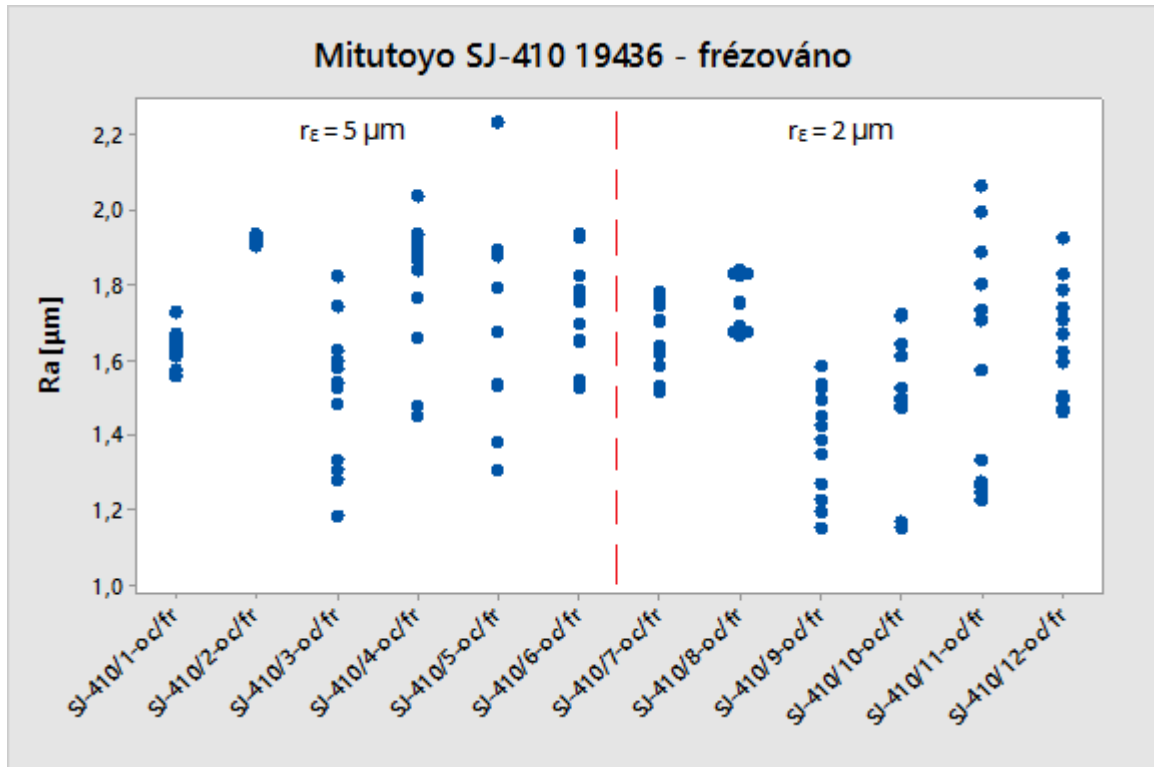
	PE/fr	PE/br	19436/fr	19436/br
SJ-410/1	4,022 ± 0,3	1,373 ± 0,153	1,636 ± 0,039	0,158 ± 0,015
SJ-410/2	4,344 ± 0,09	1,56 ± 0,235	1,918 ± 0,008	0,22 ± 0,008
SJ-410/3	3,471 ± 0,095	0,895 ± 0,42	1,502 ± 0,167	0,07 ± 0,022
SJ-410/4	3,763 ± 0,157	1,484 ± 0,345	1,802 ± 0,157	0,145 ± 0,028
SJ-410/5	4,327 ± 0,522	1,302 ± 0,033	1,703 ± 0,224	0,081 ± 0,022
SJ-410/6	4,094 ± 0,147	1,827 ± 0,233	1,734 ± 0,112	0,156 ± 0,199
SJ-410/7	4,335 ± 0,14	2,321 ± 0,501	1,676 ± 0,085	0,117 ± 0,007
SJ-410/8	4,333 ± 0,025	2,182 ± 0,069	1,752 ± 0,065	0,183 ± 0,008
SJ-410/9	3,375 ± 0,293	1,18 ± 0,324	1,383 ± 0,125	0,065 ± 0,015
SJ-410/10	4,316 ± 0,107	2,054 ± 0,372	1,51 ± 0,161	0,578 ± 0,486
SJ-410/11	4,245 ± 0,519	2,013 ± 0,954	1,592 ± 0,27	0,083 ± 0,026
SJ-410/12	4,004 ± 0,132	1,186 ± 0,426	1,65 ± 0,131	0,107 ± 0,02



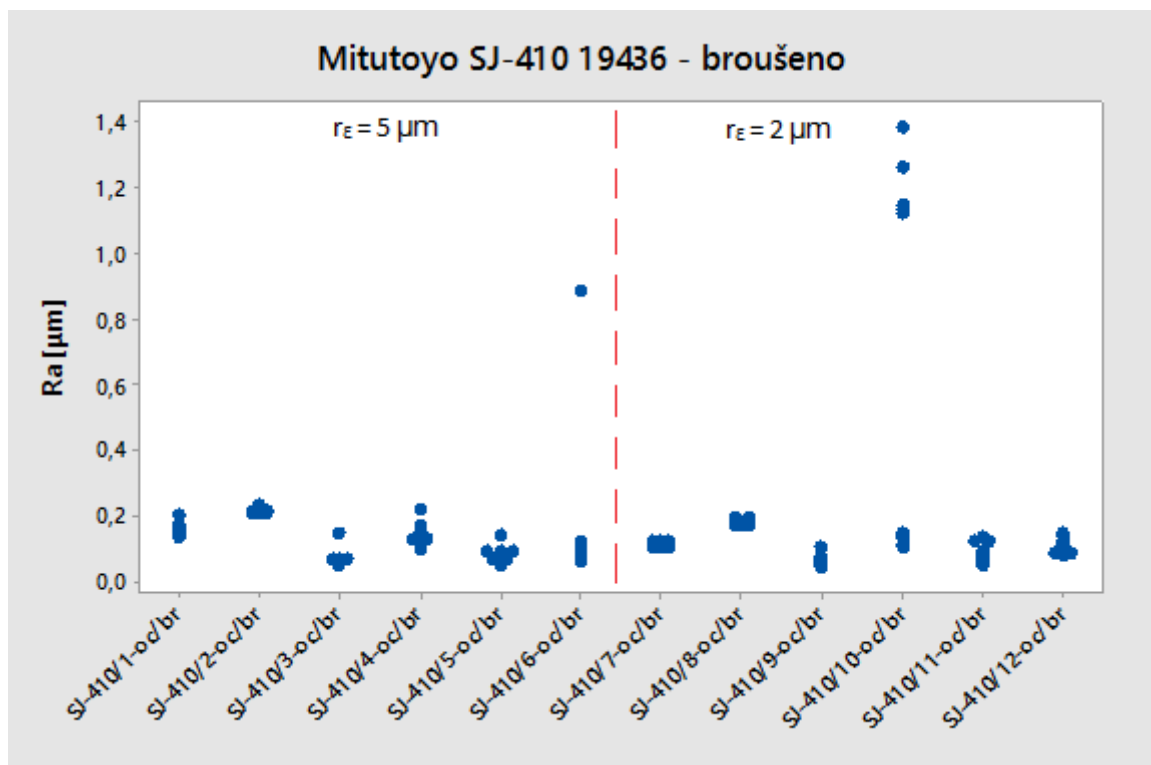
Obr. 50. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ410, materiál PE



Obr. 51. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ410, materiál PE



Obr. 52. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ410, materiál 19436



Obr. 53. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ410, materiál 19436

Ve výše uvedených grafech jdou vidět jisté nesrovnalosti mezi měřeními. Nejsou však až tak velké a pravidelné jako u měření na přístroji Taylor-Hobson. Při měření obou mate-



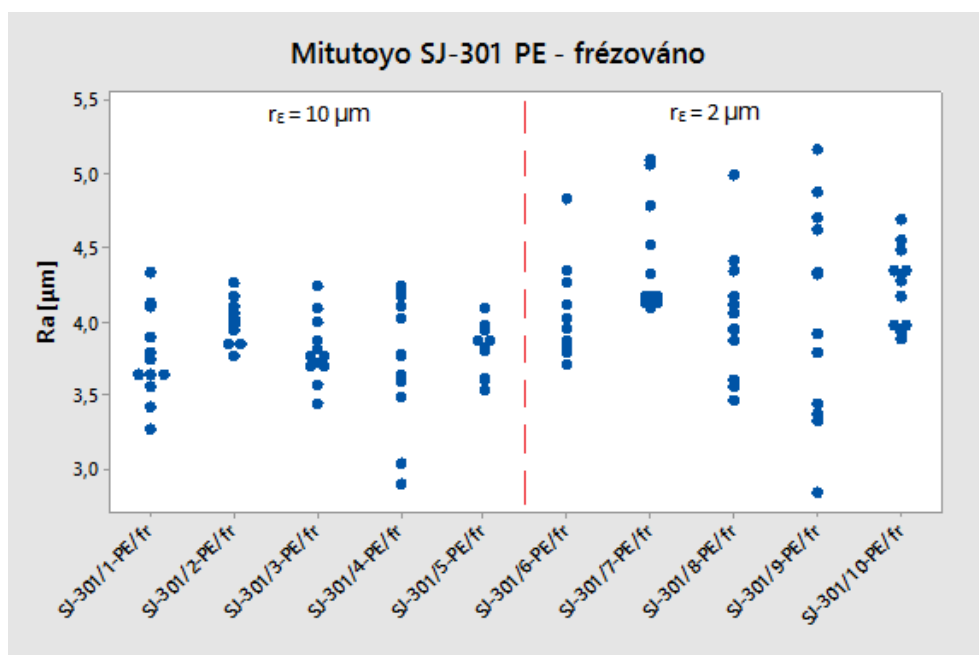
riálů, je zapotřebí se vyhnout nastavení číslo 11 a 5 (měření nejkratší vzdálenosti) a to při použití obou hrotů. Toto opatření je nutné zavést vzhledem k velkému rozptylu měření, které je místy až dvojnásobné, jediný materiál 19436 opracován broušením, touto chybou netrpí. Avšak u materiálu 19436 opracovaného broušením je doporučeno vyhnout se nastavení měření číslo 10. Toto měření se rozdělilo na dvě skupiny hodnot (v okolí Ra 0,1 a v okolí Ra 1,2). Výsledná střední hodnota tak dává údaj, který nemůže být brán v potaz při kontrolním měření. U porovnání přesnosti měření hrotem s rádiusem špičky 2 $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$  bylo zjištěno, že rozdíly mezi naměřenými hodnotami se nijak významně neliší, proto výběr hrotu u tohoto přístroje není pro dílenské měření stěžejní. V tabulce číslo 10 jsou uvedeny parametry, které jsou nevhodné pro přístroj Mitutoyo Surftest SJ-410.

Tab. 10. Nevhodná nastavení

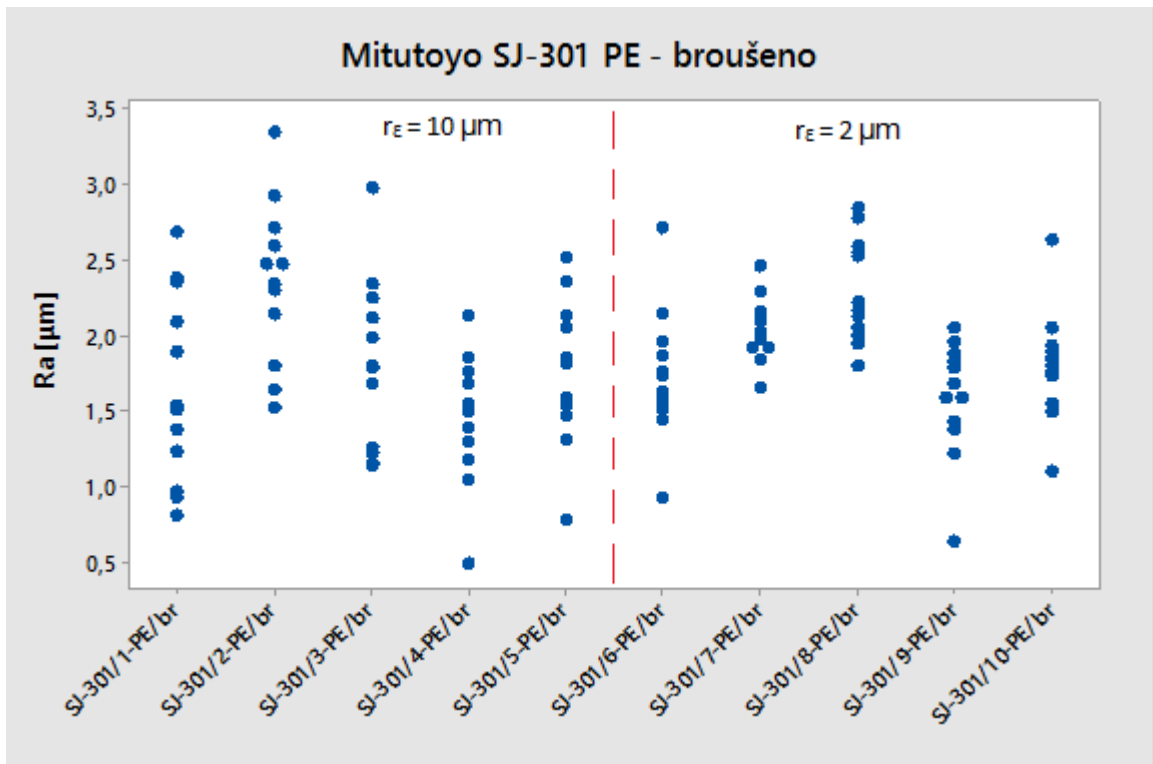
SJ-410/5-PE/fr	SJ-410/11-PE/fr	SJ-410/11-PE/br
SJ-410/11-oc/fr	SJ-410/5-oc/fr	SJ-410/10-oc/fr

### 7.3 Mitutoyo Surftest SJ-301

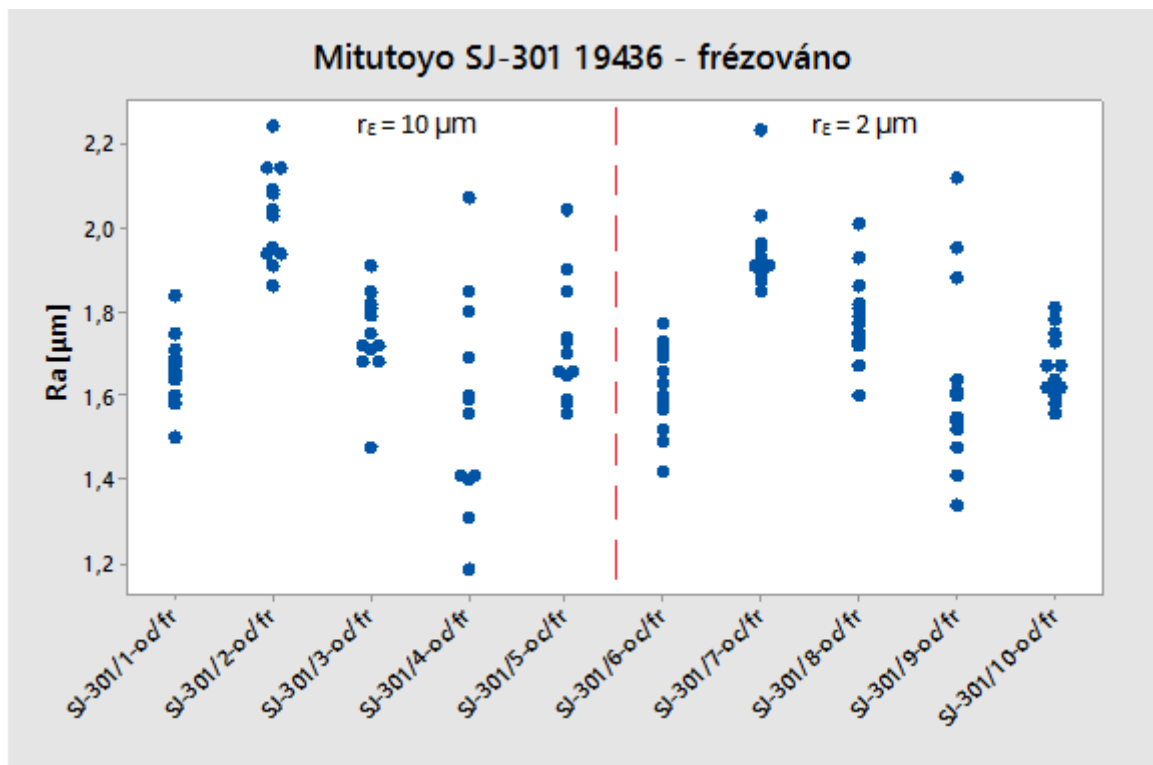
Mitutoyo SJ-301 je dílenský drsnoměr s přesností měření 0,01  $\mu\text{m}$ . Měření proběhlo v pěti různých nastaveních a to s hroty o poloměru špičky 2  $\mu\text{m}$  a 10 $\mu\text{m}$ . Pro názornou odlišnost, které hodnoty jsou naměřeny jakým hrotem, jsou grafy rozděleny přerušovanou čarou a popiskem s informací o zaoblení špičky hrotu.



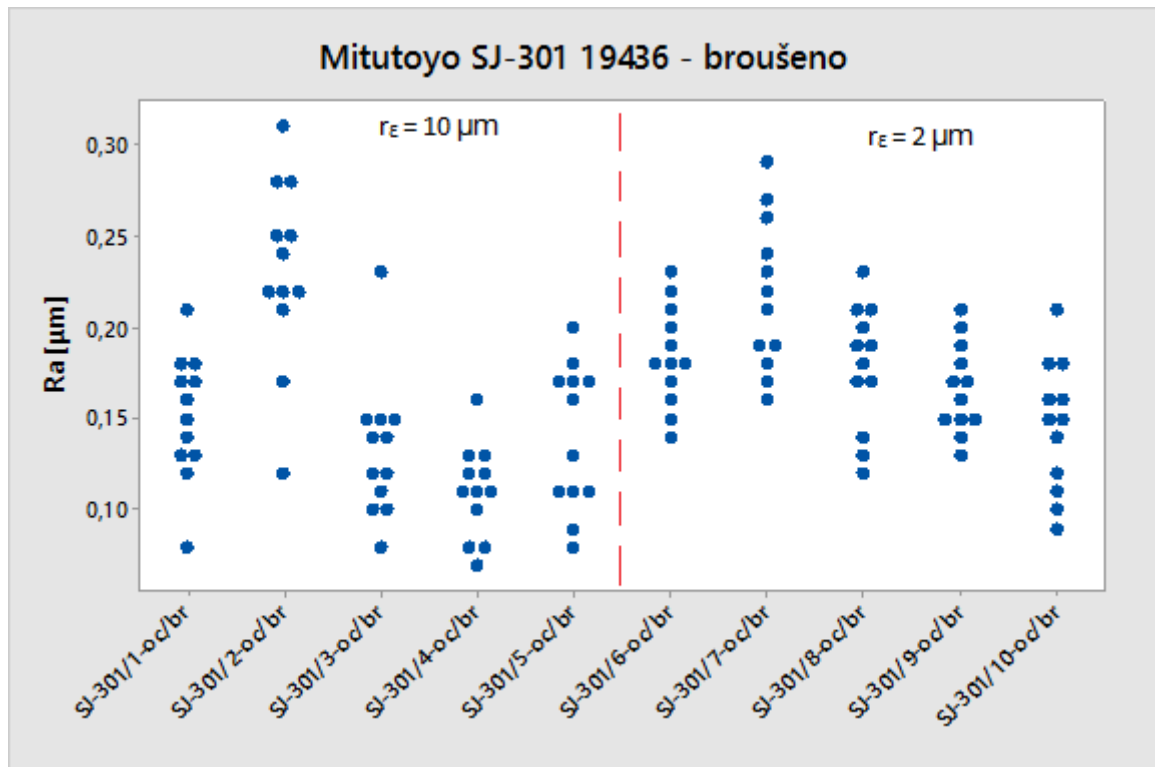
Obr. 54. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ301, materiál PE



Obr. 55. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ301, materiál PE



Obr. 56. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ301, materiál 19436



Obr. 57. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ301, materiál 19436

Jak je uvedeno na začátku této podkapitoly, drsnoměr Mitutoyo SJ-301 má nejmenší rozlišitelnost měření. Tato skutečnost se odráží v rozdílnosti výsledků měření, které jsou ze všech tří použitých přístrojů nejvíce jednotné. Avšak i zde jsou jistá nastavení parametrů, které je doporučeno nepoužívat. Z grafů pro materiál PE, tedy materiál měkčí (ze dvou zjišťovaných) lze vidět, že změna parametrů, dokonce ani změna zaoblení špičky hrotu nijak zásadně nezmění konečný výsledek. U tvrdšího materiálu 19436 by bylo vhodné se vyhýbat parametrům číslo 2 a 7 (nejdelší dráha měření) u broušeného povrchu a parametrům 4 a 9 (nejkratší dráha měření) u frézovaného povrchu. Odůvodnění vyhnutí se právě těmto parametrům je velký rozptyl měření oproti jiným nastavením. U frézovaného materiálu 19436, je nutné poukázat dále na nastavení 2 a 7 (nejdelší dráha měření), kdy měření ukázalo vyšší hodnotu drsnosti, než tomu bylo u jiných nastavení měření. Pro úplnost jsou v tabulce číslo 12 zahrnuty výsledky měření. V tabulce 11 jsou vypsány parametry nevhodné pro měření na přístroji Mitutoyo Surftest SJ-301.

Tab. 11. Nevhodná nastavení

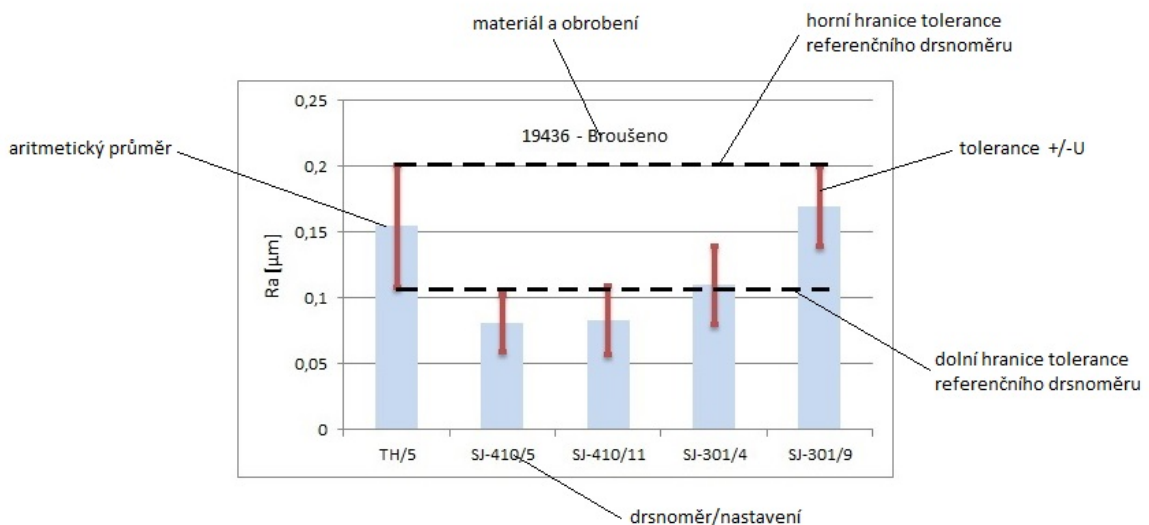
SJ-301/2-oc/br	SJ-301/7-oc/br	SJ-301/4-oc/fr
SJ-301/9-oc/fr	SJ-301/2-oc/fr	SJ-301/7-oc/fr

Tab. 12. Střední hodnoty měření s tolerancí rozšířené nejistoty - přístroj SJ-301

	PE/fr	PE/br	19436/fr	19436/br
<b>SJ-301/1</b>	3,77 ± 0,27	1,65 ± 0,54	1,66 ± 0,08	0,15 ± 0,03
<b>SJ-301/2</b>	4,01 ± 0,13	2,36 ± 0,46	2,03 ± 0,1	0,23 ± 0,05
<b>SJ-301/3</b>	3,81 ± 0,19	1,81 ± 0,49	1,74 ± 0,1	0,13 ± 0,04
<b>SJ-301/4</b>	3,75 ± 0,38	1,46 ± 0,37	1,57 ± 0,22	0,11 ± 0,03
<b>SJ-301/5</b>	3,84 ± 0,15	1,76 ± 0,45	1,72 ± 0,13	0,14 ± 0,04
<b>SJ-301/6</b>	4,04 ± 0,28	1,74 ± 0,37	1,61 ± 0,09	0,18 ± 0,03
<b>SJ-301/7</b>	4,4 ± 0,32	2,05 ± 0,18	1,94 ± 0,09	0,22 ± 0,04
<b>SJ-301/8</b>	4,04 ± 0,37	2,3 ± 0,3	1,79 ± 0,1	0,18 ± 0,03
<b>SJ-301/9</b>	4,07 ± 0,62	1,59 ± 0,33	1,64 ± 0,2	0,17 ± 0,03
<b>SJ-301/10</b>	4,25 ± 0,23	1,81 ± 0,31	1,67 ± 0,07	0,15 ± 0,04

## 8 SROVNÁNÍ HODNOT DLE NASTAVENÝCH PARAMETRŮ

V kapitole 7 byly porovnávány jednotlivá nastavení přístrojů mezi sebou. Vyplynulo, že nastavení číslo 6 u drsnoměru Taylor-Hobson není vhodné požívat z důvodů odlišnosti výsledku měření od ostatních nastavení. U drsnoměru značky Mitotoyo byly vyselektovány, jako nevhodné, různé nastavení parametrů. Faktorem v těchto případech byl i druh materiálu a způsob jeho obrobení. V této kapitole dochází již k porovnání výsledků, kdy se měří vždy vzorek z určitého materiálu a se stejně definovaným způsobem obrobení. Porovnávají se výsledky ze všech drsnoměru mezi sebou. Hodnota naměřená přístrojem Taylor-Hobson, respektive hodnota vypočteného aritmetického průměru, ke kterému je přiřazeno toleranční pole, je brána jako hodnota referenční. Toto toleranční pole je vytvořeno hodnotou  $\pm U$ , což je rozšířená nejistota vypočtena v kapitole 6. Na obrázku číslo 58 je vysvětlen graf porovnávaných hodnot. K vysvětlení zkratk jednotlivých přístrojů a číslování nastavení parametrů slouží tabulky 3,4,5, a 6 ze šesté kapitoly.



Obr. 58. Popis grafu

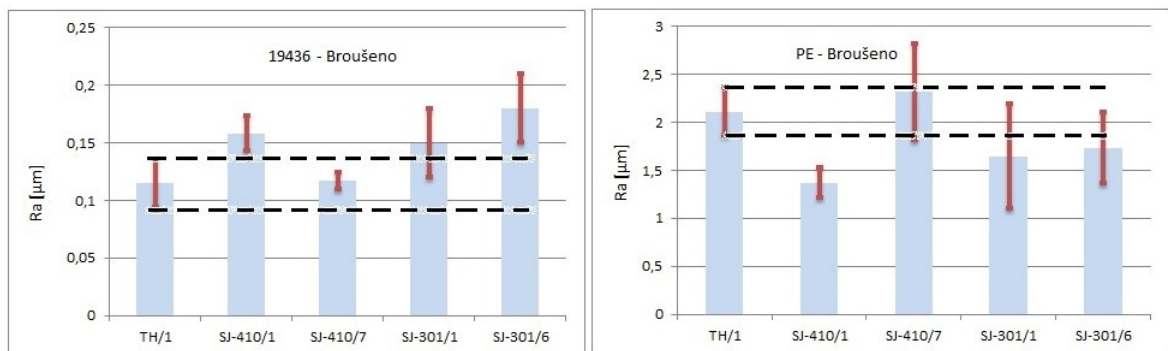
Z důvodu velkého počtu grafů jsou zde uvedeny jen ty grafy, které jasně vylučují určité nastavení parametrů měření. Zbylé grafy, ze kterých není vyloučen žádný přístroj, jsou součástí přílohy PIX.

## 8.1 Nastavení číslo 1

Porovnání vyhodnocených výsledků měření při shodném nastavení u všech tří použitých drsnoměrů. Výpis nastavení je vypsán v tabulce číslo 13. Grafy vylučující některý z přístrojů pro dané nastavení jsou zobrazeny v obrázku číslo 59.

Tab. 13. Popis zkratek pro měření

Parametr / číslo	TH/1	SJ-410/1	SJ-410/7	SJ-301/1	SJ-301/6
$\lambda c$ [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
N [-]	5	5	5	5	5
v [mm/s]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$r_\epsilon$ [ $\mu\text{m}$ ]	2	5	2	10	2



Obr. 59. Porovnávací grafy pro nastavení číslo 1

Z grafů lze zjistit použití kterého drsnoměru vykazuje odlišné naměřené hodnoty od tolerančního pole referenčního měřidla. A tedy určit, který přístroj je nevhodný pro měření při nastavení číslo 1. V tabulce 14 jsou nevhodné nastavení přístroje vypsány.

Tab. 14. Nevhodná nastavení

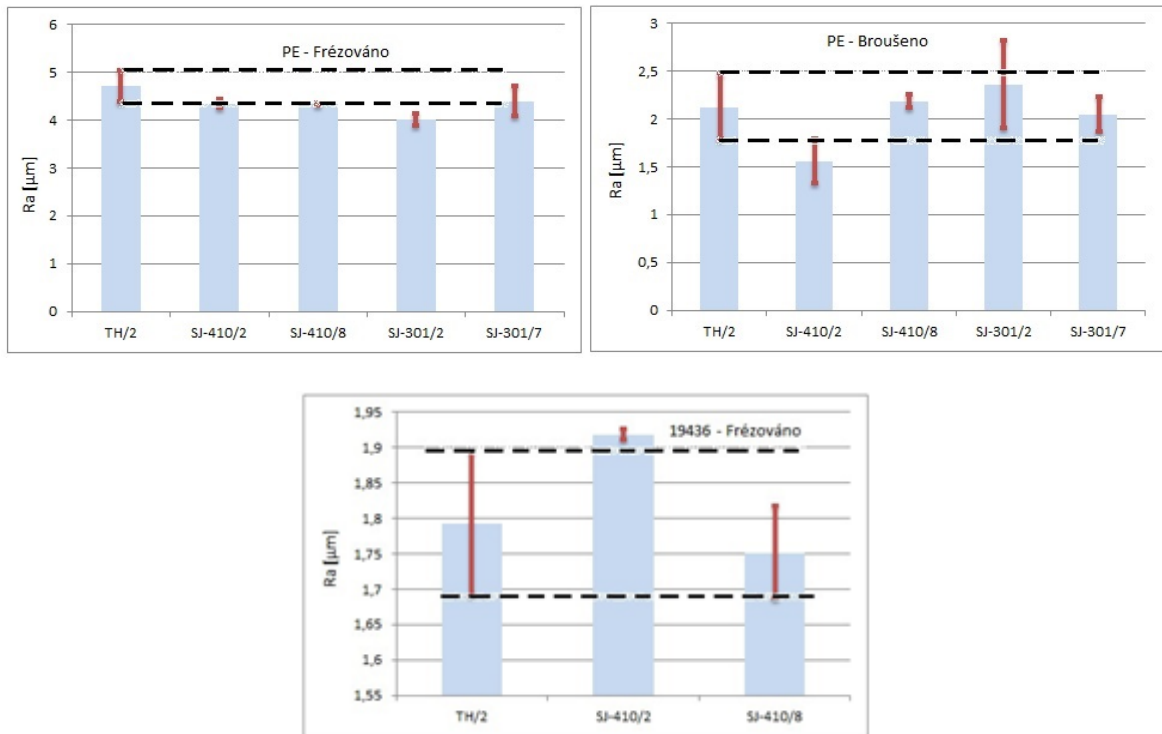
19436 - broušeno			PE - broušeno		
SJ-410/1	SJ-301/1	SJ-301/6	SJ-410/1	SJ-301/1	SJ-301/6

## 8.2 Nastavení číslo 2

Porovnání vyhodnocených výsledků měření při shodném nastavení u všech tří použitých drsnoměrů. Výpis nastavení je vypsán v tabulce číslo 15. Grafy vylučující některý z přístrojů pro dané nastavení jsou zobrazeny v obrázku číslo 60.

Tab. 15. Popis zkratek pro měření

Parametr / číslo	TH/2	SJ-410/2	SJ-410/8	SJ-301/2	SJ-301/7
$\lambda_c$ [mm]	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
N [-]	5	5	5	5	5
v [mm/s]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$r_\epsilon$ [ $\mu\text{m}$ ]	2	5	2	10	2



Obr. 60. Porovnávací grafy pro nastavení číslo 2

Z grafů lze zjistit použití kterého drsnoměru vykazuje odlišné naměřené hodnoty od tolerančního pole referenčního měřidla. A tedy určit, který přístroj je nevhodný pro měření při nastavení číslo 2. V tabulce 16 jsou nevhodné nastavení přístroje vypsány.

Tab. 16. Nevhodná nastavení

PE - frézováno	PE - broušeno	19436 - frézováno
SJ-301/2	SJ-410/2	SJ-410/2

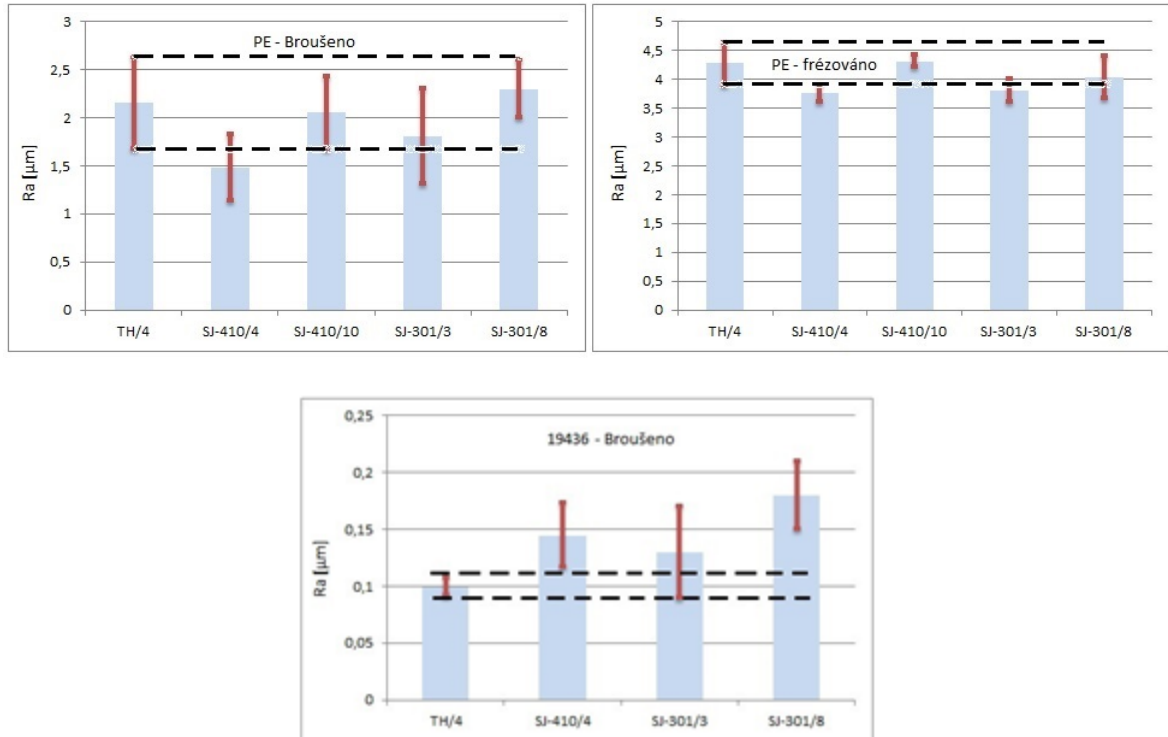
### 8.3 Nastavení číslo 4

Porovnání vyhodnocených výsledků měření při shodném nastavení u všech tří použitých drsnoměrů. Výpis nastavení je vypsán v tabulce číslo 17. Grafy vylučující některý z přístrojů pro dané nastavení jsou zobrazeny v obrázku číslo 61.



Tab. 17. Popis zkratek pro měření

Parametr / číslo	TH/4	SJ-410/4	SJ-410/10	SJ-301/3	SJ-301/8
$\lambda c$ [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
N [-]	3	3	3	3	3
v [mm/s]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$r_\epsilon$ [ $\mu\text{m}$ ]	2	5	2	10	2



Obr. 61. Porovnávací grafy pro nastavení číslo 4

Z grafů lze zjistit použití kterého drsnoměru vykazuje odlišné naměřené hodnoty od tolerančního pole referenčního měřidla. A tedy určit, který přístroj je nevhodný pro měření při nastavení číslo 4. V tabulce 18 jsou nevhodné nastavení přístroje vypsány.

Tab. 18. Nevhodná nastavení

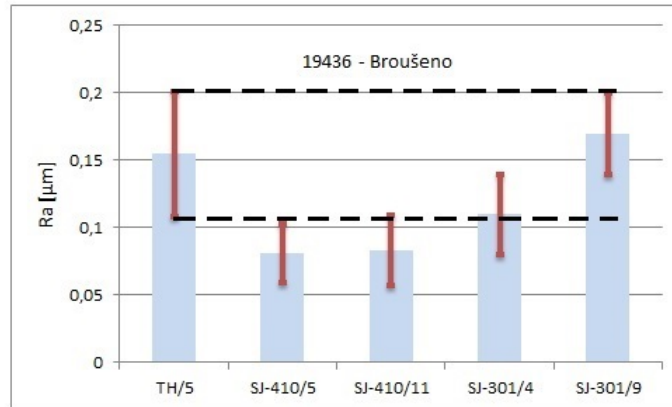
PE - brouše-	PE - frézováno		19436 - broušeno	
SJ-410/4	SJ-410/4	SJ-301/3	SJ-401/4	SJ-301/8

## 8.4 Nastavení číslo 5

Porovnání vyhodnocených výsledků měření při shodném nastavení u všech tří použitých drsnoměrů. Výpis nastavení je vypsán v tabulce číslo 19. Graf vylučující některý z přístrojů pro dané nastavení jsou zobrazeny v obrázku číslo 62.

Tab. 19. Popis zkratek pro měření

Parametr / číslo	TH/5	SJ-410/5	SJ-410/11	SJ-301/4	SJ-301/9
$\lambda_c$ [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
N [-]	1	1	1	1	1
v [mm/s]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$r_\epsilon$ [ $\mu\text{m}$ ]	2	5	2	10	2



Obr. 62. Porovnávací grafy pro nastavení číslo 5

Z grafů lze zjistit použití kterého drsnoměru vykazuje odlišné naměřené hodnoty od tolerančního pole referenčního měřidla. A tedy určit, který přístroj je nevhodný pro měření při nastavení číslo 5. V tomto případě se jedná o přístroj Mitotoyo SJ-410 a to při použití hrotů se zaoblením špičky jak 5, tak 2  $\mu\text{m}$ .

## 8.5 VHODNÁ NASTAVENÍ

Z předešlých porovnání lze identifikovat které přístroje s jakým nastavením, jsou nevhodné při měření různě opracovaných odlišných materiálů. V příložených tabulkách jsou shrnuty nastavení parametrů pro měření drsnosti, která lze používat. Tabulky jsou rozděleny dle materiálů a způsobu obrobění.

Tab. 20. Vhodná nastavení pro materiál PE

PE - broušeno			PE - frézováno		
TH-1	TH-2	TH-3	TH-1	TH-2	TH-3
TH-4	TH-5	SJ-410-3	TH-4	TH-5	SJ-410-1
SJ-410-5	SJ-410-9	SJ-301-4	SJ-410-3	SJ-410-7	SJ-410-9
SJ-301-9			SJ-301-1	SJ-301-4	SJ-301-6
			SJ-301-9		

Tab. 21. Vhodná nastavení pro materiál 19436

19436 - broušeno			19436 - frézováno		
TH-1	TH-2	TH-3	TH-1	TH-2	TH-3
TH-4	TH-5	SJ-410-2	TH-4	TH-5	SJ-410-1
SJ-410-3	SJ-410-8	SJ-410-9	SJ-410-3	SJ-410-4	SJ-410-7
			SJ-410-9	SJ-410-10	SJ-301-1
			SJ-301-3	SJ-301-6	SJ-301-8

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce, bylo srovnání dílenským přístrojů Mitutoyo sloužících k měření drsnosti povrchu s laboratorním přístrojem Taylor-Hobson, který je taktéž určen pro měření drsností povrchu. Porovnávání těchto přístrojů bylo zpracováno pro Technologickou fakultu University Tomáše Bati ve Zlíně.

Fakulta technologická, University Tomáše Bati ve Zlíně má k dispozici tyto typy měřících přístrojů. Laboratorní drsnoměr Taylor-Hobson Intra SN:535 a dva dílenské drsnoměry Mitutoyo, modely Surftest SJ-410 a Surftest SJ-301.

Naměřené hodnoty na laboratorním přístroji byly použity jako výchozí hodnoty pro porovnání s hodnotami získanými pomocí dílenských měřidel.

Jak bylo zjištěno, při nastavení parametrů měření: základní délka ( $\lambda_c$ ) – 0,25, počtu základních délek (N) – 5, rychlost posuvu (v) – 0,5 mm/s u přístroje Mitutoyo Surftest SJ-410 byly naměřené hodnoty velmi podobné jako u referenčního přístroje Taylor-Hobson a to u všech čtyř měřených vzorků. Dokonce bylo zjištěno, že při tomto nastavení nezáleží na volbě dotyku. Tedy jestli je použit hrot se zaoblením špičky  $r_\varepsilon = 5 \mu\text{m}$ , nebo  $2 \mu\text{m}$ . V obou těchto případech byly hodnoty měření, respektive aritmetické průměry daného počtu měření, velmi podobné. Přístroj Mitutoyo Surftest SJ-301 by autor práce doporučil spíše pro měření měkčích materiálu, například v této práci se jedná o materiál polyetylen. U měření tohoto materiálu drsnoměr s označením SJ-301 vyhodnotil výsledky podobnými hodnotami jako referenční laboratorní drsnoměr. Nejpřesnější měření u tohoto přístroje pro materiál polyetylen bylo zjištěno nastavení: základní délka ( $\lambda_c$ ) – 0,5, počtu základních délek (N) – 1, rychlost posuvu (v) – 0,5 mm/s. Avšak při měření tvrdšího materiálu se získané hodnoty vzhledem k referenčnímu měřidlu lišily, obzvláště u broušeného povrchu. Dále pak dle zpracovaných grafů bylo zjištěno, že u obou dílenských měřidel nejsou výsledky měření nijak markantně ovlivňovány parametry nastavení přístrojů. Oproti laboratornímu přístroji, kde změna parametrů, hlavně pak nastavení nejkratší vzdálenosti měření, ukazovala významné rozdíly mezi naměřenými hodnotami.

Závěrem lze říci, že při použití drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ-410 při nastavení, které je uvedeno výše, budou naměřené hodnoty dosahovat velmi podobných výsledků jako u laboratorního přístroje. Což je u zhruba 3x levnějšího přístroje výborný výsledek a pro dílenské měření je tak více než vyhovující.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BUMBÁLEK, L. *Integrita povrchu a její význam pro posouzení vhodnosti dané plochy pro její funkci*. [online] 2005. [citace 2016-11-28] Dostupný z WWW: [http://gps.fme.vutbr.cz/STAH\\_INFO/2512\\_Bumbalek.pdf](http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2512_Bumbalek.pdf)
- [2] TICHÁ Šárka, *STROJÍRENSKÁ METROLOGIE II*. Dotisk r. 2008 150 výt. [online] [citace 2016-11-28] Dostupná z WWW: <http://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/346/cs/studium/studijni-literatura/Strojirenska-metrologie-II-rizeni-jakosti.pdf>
- [3] GREZESIK, W.: *Advanced machining processes of metallic materials; first edition* 2008; Elsevier, Oxford (UK); ISBN 978-0-08-044534-2; 2008
- [4] *Komplexní charakteristika povrchové vrstvy - integrita povrchu*. [online] [citace 2016-11-28] Dostupné z WWW: [http://www.qmprofi.cz/komplexni-charakteristika-povrchove-vrstvy-integrita-povrchu-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox\\_Z2Q0tbA5lha00qo8wlGnpxw/](http://www.qmprofi.cz/komplexni-charakteristika-povrchove-vrstvy-integrita-povrchu-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox_Z2Q0tbA5lha00qo8wlGnpxw/)
- [5] ŠPERKA P. *Struktura vybraných povrchů strojních součástí*. [online] 2009 [citace 2016-11-28] Dostupné z WWW: [http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/vyuka/Struktura\\_povrchu\\_vybranych\\_technologii\\_obrazeni.pdf](http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/vyuka/Struktura_povrchu_vybranych_technologii_obrazeni.pdf)
- [6] GORDEYKO Diana., *Integrita povrch*. Praha, 2015. Bakalářská práce. ČVUT V PRAZE, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie
- [7] JURENA Pavel, *Snímání a hodnocení jakosti broušeného povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem*. Zlín, 2011. Diplomová práce. UTB ve Zlíně, Fakulta technologická.
- [8] ČSN EN ISO 4287 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) Struktura povrchu. Profilová metoda – Termíny, definice, a parametry struktury povrchu. Český normalizační institut, březen 1999
- [9] PATA V., *Učíme v prostoru, Měření jakosti povrchu*. Dostupné z WWW: [http://uvp3d.cz/drtic/?page\\_id=1985](http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=1985)
- [10] HOMMEL CS, *Drsnost povrchu dle DIN EN ISO*. [online] [citace 2016-11-28] dostupné z WWW: <http://www.hommel-etamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>

- [11] SANDVIK COROMANT, *Měření jakosti povrchu*. [online], [citace 2016-11-28] Dostupné z WWW: [http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/measuring\\_surfaces](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/measuring_surfaces)
- [12] SEDLÁKOVÁ Žaneta, *Měření drsnosti povrchu*. [online], [citace 2016-11-28] Dostupné z WWW: <http://slideplayer.cz/slide/3721093/>
- [13] CHAHAL, Mandeep, SINGH, Vikram, GARG, Rohit and KUMAR, Sudhir, Surface Roughness Optimization Techniques of CNC Milling: A Review. *International Journal of Scientific and Engineering Research*. 2012. Vol. 3, no. 12, p. 1–17.
- [24] ČEJKA, L. [www.kovonastroje.cz](http://www.kovonastroje.cz) [online]. Zlín: [cit. 2016-10-28]. Dostupné z WWW: <http://www.kovonastroje.cz/Nastroje-pro-kovoobrabeni/Rezani-zavitu/>
- [35] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o., *Průručka obrábění – kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: *Modern Metal Cutting – A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [46] Elektronická učebnice, *Řezné materiály*. [online], [citace 2016-11-28] Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1814>
- [17] KOVÁŘ Jiří, Průmyslové spektrum, *Ovlivnění kvality a jakosti obrobené plochy při frézování*. [online], [citace 2016-11-28]. Dostupné z WWW: <http://m.mmspektrum.com/clanek/ovlivneni-kvality-a-jakosti-obrobene-plochy-pri-frezovani>
- [58] Elektronická učebnice, *Tvar třísky a geometrie nástroje*. [online], [citace 2016-11-28] Dostupné z WWW: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1816>
- [69] Technický portál. *Řezné nástroje*. [online], [citace 2016-11-28]. Dostupné z WWW: [http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/rezne-nastroje/rezne-nastroje-4\\_8516.html](http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/rezne-nastroje/rezne-nastroje-4_8516.html)
- [20] Mgr. HAMERNÍK Jan, *Základy obrábění*. [online], [citace 2016-11-28]. Dostupné z WWW: <http://jhamernik.sweb.cz/obrabeni.htm>
- [21] Elektronická učebnice, *Měření drsnosti povrchu*. [online], [citace 2016-11-28] Dostupné z WWW: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1103>
- [22] Odborné vzdělávání s moderní technikou, *Drsnost povrchu*. [online], [citace 2016-11-28] Dostupné z WWW- [files.ovmt.webnode.cz/200000030-3094f328a0/Drsnost%20povrchu.pdf](http://files.ovmt.webnode.cz/200000030-3094f328a0/Drsnost%20povrchu.pdf)

- [23] LEINVEBER Jiří., VÁVRA Pavel, Strojnické tabulky. Vydání páté upravené. ALBRA-pedagogické nakladatelství. 2011. 927s. ISBN 978-80-7361-081-4
- [24] *Předepisování jakosti povrchu*. [online], [citace 2016-11-28] Dostupné z WWW: <http://slideplayer.cz/slide/3134827/>
- [25] SVOBODA, Pavel, BRANDEJS, Jan, DVOŘÁČEK, Jiří, PROKEŠ, František. *Základy konstruování*. Vydání druhé, doplněné a přepracované. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2008. 234 s. ISBN 978-80-7204-584-6
- [26] PEŠIČKA, Ladislav. Geometrická specifikace výrobků strojírenské výroby (GPS). Praha: ČNI, 2006. 49 s.
- [27] [Nastrojenaradi.cz](http://www.nastrojenaradi.cz), *Vzorkovnice drsnosti povrchů VP 1-4* [online] [citace 2016-11-28]. Dostupné z WWW: <http://www.nastrojenaradi.cz/vzorkovnice-drsnosti-povrchu-vp-1-4>



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

2D	Dvourozměrný prostor [-]
3D	Třírozměrný prostor [-]
$\alpha$	Úhel hřbetu nože [°]
$\beta$	Úhel břitu nože [°]
$\gamma$	Úhel čela nože [°]
$\lambda_c$	Filtr profilu [-]
$\lambda_f$	Filtr profilu [-]
$\lambda_s$	Filtr profilu [-]
$\phi$	Průměr [mm]
ANSI	Americký národní institut pro normalizaci [-]
CLA	Snímač (Chromatic Length Aberration) [-]
ČSN	Česká státní norma [-]
DIN	Německý ústav pro normalizaci [-]
EN	Evropská norma [-]
F	Řezná síla [N]
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci [-]
JIS	Japonské průmyslové standardy [-]
k	Konstanta [-]
$k_r$	Koeficient [-]
L	Délka [mm]
LCD	Display z tekutých krystalů [-]
ld	Doběh [-]
ln	Vyhodnocovaná délka [mm]
lr	Základní délka [mm]

---

lt	Délka snímání [mm]
M	Medián [ $\mu\text{m}$ ]
n	Otáčky [ot/min]
n	Počet [-]
N	Počet měření [-]
P	Základní profil [-]
PE	Polyetylen
R	Profil drsnosti [ $\mu\text{m}$ ]
R	Rozptyl [ $\mu\text{m}$ ]
$r_\varepsilon$	Poloměr špičky řezného nástroje [mm]
Ra	Střední výška nerovnosti profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rc	Průměrná výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rmr	Materiálový poměr [%]
Rp	Největší výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rt	Celková výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rz	Maximální výška profilu (průměrná) [ $\mu\text{m}$ ]
$R_{\max}$	Největší úchylka [ $\mu\text{m}$ ]
s	Směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]
U(x)	Rozšířená nejistota [ $\mu\text{m}$ ]
$u_a$	Standardní nejistota typu A [ $\mu\text{m}$ ]
$u_{Bj}(x)$	Standardní nejistota typu B [ $\mu\text{m}$ ]
$u_B(x)$	Standardní nejistota typu B [ $\mu\text{m}$ ]
$u_c$	Kombinovaná nejistota [ $\mu\text{m}$ ]
$v_c$	Řezná rychlost [m/s]
v	Rychlost [mm/s]

---

$v_f$	Rychlost posuvu [m/mm]
VDA	Německé standardy pro automobilový průmysl [-]
W	Profil vlnitosti [-]
X,Y,Z	Osy souřadného systému [-]
$\bar{x}$	Aritmetický průměr [ $\mu\text{m}$ ]
$x_{\text{max}}$	Maximální naměřená hodnota [ $\mu\text{m}$ ]
$x_{\text{min}}$	Minimální naměřená hodnota [ $\mu\text{m}$ ]
$Z_{j\text{max}}$	Konstanta [-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1. Šest skupin klíčových faktorů, které definují integritu obrobeného povrchu
- Obr. 2. Obecný tvar plochy a jeho součásti
- Obr. 3. Profil povrchu
- Obr. 4. Obecný tvar povrchu
- Obr. 5. Vlnitost povrchu
- Obr. 6. Drsnost povrchu
- Obr. 7. Parametry P, W, R na profilu povrchu
- Obr. 8. Základní délka
- Obr. 9. Vyhodnocovaná délka  $l_n$
- Obr. 10. Délka dráhy měřicího hrotu
- Obr. 11. Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu  $R_a$
- Obr. 12 Maximální výška profilu  $R_z$
- Obr. 13. Výškové profily  $R_p$ ,  $R_v$ ,  $R_z$
- Obr. 14. Celková výška profilu  $R_t$
- Obr. 15. Fishbone diagram znázorňující faktory ovlivňující jakost povrchu
- Obr. 16. Špička soustružnického nože (s výměnnou břitovou destičkou)
- Obr. 17. Teoretické hodnoty  $R_t$  pro určité kombinace posuvu a poloměru špičky
- Obr. 18. Ukázka nástrojových materiálů v podobě výměnných destiček
- Obr. 19. Geometrie soustružnického nože (vhodný výběr nože dle tvrdosti materiálu)
- Obr. 20. Možnosti opotřebení nástroje
- Obr. 21. Příklad značení předepsaných řezných podmínek výrobcem
- Obr. 22. Složky řezné síly F
- Obr. 23. Tvorba stříhané a odlamované třísky Obr. 24. Délka dráhy měřicího hrotu
- Obr. 24. Tvoření nárůstku
- Obr. 25. Úplná značka struktury povrchu

Obr. 26. Grafické značky drsnosti

Obr. 27. Grafická značka označující odebrání materiálu s jednotnou drsností po celém povrchu

Obr. 28. Kontrolní prvky předpisu požadavků na strukturu povrchu

Obr. 29. Vzorkovnice drsnosti uložené v kazetě

Obr. 30. Kotoučová vzorkovnice drsnosti

Obr. 31. Detail diamantového snímacího hrotu

Obr. 32. Schéma dotykového drsnoměru

Obr. 33. Schéma CLA snímače

Obr. 34. Nasnímaný 3D povrch pomocí CLA snímače

Obr. 35. Schéma laserového snímače

Obr. 36. Měřicí přístroj Mitutoyo Surftest SJ-301

Obr. 37. Měřicí přístroj Mitutoyo Surftest SJ-410

Obr. 38. Měřicí přístroj Taylor-Hobson Intra SN:535

Obr. 39. Kalibrace drsnoměru Mitutoyo SJ-301

Obr. 40. Měřené vzorky polyethylenu a oceli 19436

Obr. 41. Ocel 19436 broušená

Obr. 42. Ocel 19436 frézována

Obr. 43. PE broušeno

Obr. 44. PE frézováno

Obr. 45. Rozmezí měřených ploch vzorků

Obr. 46. Graf naměřených hodnot na přístroji Taylor-hobson, materiál PE

Obr. 47. Graf naměřených hodnot na přístroji Taylor-hobson, materiál PE

Obr. 48. Graf naměřených hodnot na přístroji Taylor-hobson, materiál 19436

Obr. 49. Graf naměřených hodnot na přístroji Taylor-hobson, materiál 19436

Obr. 50. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ410, materiál PE

Obr. 51. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ410, materiál PE

Obr. 52. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ410, materiál 19436

Obr. 53. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ410, materiál 19436

Obr. 54. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ301, materiál PE

Obr. 55. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ301, materiál PE

Obr. 56. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ301, materiál 19436

Obr. 57. Graf naměřených hodnot na přístroji Mitutoyo SJ301, materiál 19436

Obr. 58. Popis grafu

Obr. 59. Porovnávací grafy pro nastavení číslo 1

Obr. 60. Porovnávací grafy pro nastavení číslo 2

Obr. 61. Porovnávací grafy pro nastavení číslo 4

Obr. 62. Porovnávací grafy pro nastavení číslo 5

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Popsání použitých zkratk

Tab. 2. Standardní nejistota typu B

Tab. 3. Zkratky přístrojů

Tab. 4. Označení nastavených parametrů měření pro Mitutoyo SJ-410

Tab. 5. Označení nastavených parametrů měření pro Mitutoyo SJ-301

Tab. 6. Označení nastavených parametrů měření pro Taylor-Hobson

Tab. 7. Nevhodná nastavení

Tab. 8. Střední hodnoty měření s tolerancí rozšířené nejistoty - přístroj TH

Tab. 9. Střední hodnoty měření s tolerancí rozšířené nejistoty - přístroj SJ-410

Tab. 10. Nevhodná nastavení

Tab. 11. Nevhodná nastavení

Tab. 12. Střední hodnoty měření s tolerancí rozšířené nejistoty - přístroj SJ-301

Tab. 13. Popis zkratk pro měření

Tab. 14. Nevhodná nastavení

Tab. 15. Popis zkratk pro měření

Tab. 16. Nevhodná nastavení

Tab. 17. Popis zkratk pro měření

Tab. 18. Nevhodná nastavení

Tab. 19. Popis zkratk pro měření

Tab. 20. Vhodná nastavení pro materiál PE

Tab. 21. Vhodná nastavení pro materiál 19436

**SEZNAM PŘÍLOH**

- PI Kalibrační listopad
- PII Naměřené hodnoty
- PIII Zobrazení měření na Taylor-Hobon
- PIV Zobrazení měření na Mitutoyo SJ-410
- PV Zobrazení měření na Mitutoyo SJ-301
- PVI Statistické vyhodnocení v Minitabu
- PVII kombinovaná nejistota – výsledky
- PVIII Rozšířená nejistota - výsledky
- PIX Grafy porovnávání měření



# PŘÍLOHA P I: KALIBRAČNÍ LIST



IMECO TH s.r.o.  
U Hřiště 733  
664 42 Modřice

## Service Report № 05858

Customer Univerzita Tomáše Bati Date 15.10.2015  
Address Nám. T.G. Masaryka 275 Time \_\_\_\_\_  
762 72 Zlín Telephone +420 558 340 424  
Location ČR Contact doc. Vladimír Pata

Customer Order No. \_\_\_\_\_ T.H Order No. \_\_\_\_\_  
Reason code. \_\_\_\_\_ Under Warranty? NE  
Instrument Form Talysurf CLI500 Customer ref. \_\_\_\_\_  
Serial No. \_\_\_\_\_ Operation No. \_\_\_\_\_

### Environment

Shop floor  Gauge room  Standards room

All checks carried out at temperatures between \_\_\_\_ and \_\_\_\_ (°C / °F)

### Fault report / error codes displayed

Nefunkční světelný zdroj.

### Action taken

Provedeno:

- diagnostika přístroje
- výměna žárovky LED
- provedena linearizace snímače
- provedena kalibrace - OK
- test na měřeném kuse

### Materials used

Code	Description	Quantity	Price

Response time. \_\_\_\_\_ Completed date. \_\_\_\_\_ Repair time. \_\_\_\_\_ Down time. \_\_\_\_\_  
Engineers name. (capitals) David Hladik Signature. *D. Hladik*  
Approved by. (capitals) doc. Dr. Ing. Vladimír Pata Signature. \_\_\_\_\_

### FOR OFFICE USE ONLY

Time working	Time travelling	Mileage	Expenses	Materials	Total
6 hod	2 x 1 hod	2x 95km			11 500,-Kč

+DPH

**PROTOKOL O KALIBRACI**  
*měřicího přístroje*

Majitel přístroje : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
nám. T.G. Masaryka 5555  
760 01 Zlín

Typ přístroje : **Form Talysurf Intra SN:535**

Posuvová jednotka : 112 / 3477

Snímač : 112 / 2564 SN:4291

Snímací raménko : 112 / 2009 SN: SY2264  
112 / 2012 SN: SY2461

Použité etalony :

Kalibrační koule 112/2062 - D4143 R = 12,4942 mm

Rovinné sklo 112/1998 - 10620

Etalon Ra 527E - PAGO Ra = 2,99 um

Poznámky :

Kalibrace byla provedena dle metodiky výrobce, popsané v dokumentaci přístroje.

Přístroj není vybaven funkčním záznamovým zařízením a protokol neobsahuje grafický výstup měřených hodnot.

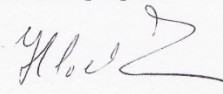
Podepsaný pracovník firmy IMECO TH s.r.o. , autorizovaný zástupce firmy Taylor Hobson Limited, potvrzuje tímto, že dnešního dne provedl kontrolu, seřízení a kalibraci výše uvedeného měřicího přístroje dle předpisu výrobce a ověřil, že technické parametry tohoto přístroje vyhovují specifikaci

Pro tuto činnost je firma IMECO TH s.r.o. podle § 19 zákona o metrologii č. 505/1990 Sb. registrována u Státního metrologického inspektorátu -Oblastního inspektorátu Brno a bylo jí uděleno registrační osvědčení číslo 6000-OR-0022-05.

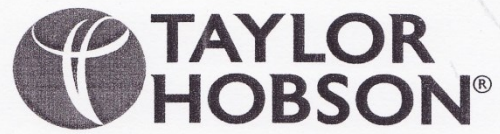
Ve Zlíně, dne 27.1.2015

**imeco**  
IMECO TH s.r.o.  
U Hřiště 733, 664 42 Modřice  
IČ: 27674959 DIČ: CZ27674959

Razítko a podpis







*Měřené hodnoty:*

*raménko 112-2009*  
*raménko 112-2012*

*hodnota Pt = 0,0796 μm*  
*hodnota Pt = 0,0690 μm*

*Max. výrobcem přípustná hodnota Pt = 0,25 μm*

*Kontrola přímosti posuvové jednotky*

*hodnota STR = 0,3299 μm*

*Max. výrobcem přípustná hodnota STR = 0,4 μm na délce 50mm*

*Kontrola na etalonu drsnosti*

*Ra = 2,9900 μm*  
*Rz = 9,3865 μm*

*Kalibraci prováděl: David Hladík - certifikovaný servisní technik Taylor Hobson*

## PŘÍLOHA P II: NAMĚŘENÉ HODNOTY

Všechny hodnoty jsou v  $\mu\text{m}$ .

TAYLOR-HOBSON

parametr	PE frézováno (Ra)	parametr	PE broušeno (Ra)	parametr	19 463 frézováno (Ra)	parametr	19 463 broušeno (Ra)
$\lambda c=0,8$	3,583	$\lambda c=0,8$	1,4909	$\lambda c=0,8$	1,6712	$\lambda c=0,8$	0,0908
N=5	4,1058	N=5	2,7855	N=5	1,5833	N=5	0,1546
v=0,5	3,9071	v=0,5	1,4783	v=0,5	1,7848	v=0,5	0,0939
r $\delta=2\mu\text{m}$	5,1386	r $\delta=2\mu\text{m}$	1,3804	r $\delta=2\mu\text{m}$	1,6695	r $\delta=2\mu\text{m}$	0,1195
TH1	4,069	TH1	1,2579	TH1	1,745	TH1	0,1439
	3,9028		2,0262		1,8725		0,1461
	4,5925		1,1759		1,884		0,0855
	4,0884		7,3072		1,4753		0,1222
	5,4777		1,3756		1,566		0,0888
	4,1992		1,7132		1,5783		0,0947
	4,2141		2,2159		1,5469		0,1204
	4,9552		1,1667		1,7134		0,1281
	<b>4,3529</b>		<b>2,1145</b>		<b>1,6742</b>		<b>0,1157</b>
parametr	PE frézováno (Ra)	parametr	PE broušeno (Ra)	parametr	19 463 frézováno (Ra)	parametr	19 463 broušeno (Ra)
$\lambda c=2,5$	5,1444	$\lambda c=2,5$	1,6271	$\lambda c=2,5$	1,6663	$\lambda c=2,5$	0,1352
N=5	5,0546	N=5	2,6605	N=5	1,6467	N=5	0,1659
v=0,5	5,4121	v=0,5	2,6255	v=0,5	1,6768	v=0,5	0,1756
r $\delta=2\mu\text{m}$	4,8563	r $\delta=2\mu\text{m}$	2,2203	r $\delta=2\mu\text{m}$	1,72	r $\delta=2\mu\text{m}$	0,1711
TH2	4,6892	TH2	2,5368	TH2	1,781	TH2	0,1916
	4,261		2,0976		1,8134		0,1992
	4,3555		2,411		1,7897		0,1779
	4,2106		1,7909		1,783		0,2533
	4,5715		1,86		1,7925		0,2546
	4,8246		2,1947		2,0269		0,208
	4,4203		2,0099		1,8301		0,184
	4,7423		1,4911		1,9839		0,1953
	<b>4,7119</b>		<b>2,1271</b>		<b>1,7925</b>		<b>0,1926</b>
parametr	PE frézováno (Ra)	parametr	PE broušeno (Ra)	parametr	19 463 frézováno (Ra)	parametr	19 463 broušeno (Ra)
$\lambda c=0,25$	3,5342	$\lambda c=0,25$	0,5156	$\lambda c=0,25$	1,3107	$\lambda c=0,25$	0,0645
N=5	3,1668	N=5	1,0524	N=5	1,4458	N=5	0,048
v=0,5	3,0614	v=0,5	0,8328	v=0,5	0,9619	v=0,5	0,0594
r $\delta=2\mu\text{m}$	3,2536	r $\delta=2\mu\text{m}$	0,7689	r $\delta=2\mu\text{m}$	1,6025	r $\delta=2\mu\text{m}$	0,0508
TH3	3,4583	TH3	1,7436	TH3	1,5257	TH3	0,1053
	3,8021		2,3719		1,4111		0,0728
	3,4337		1,4989		1,1822		0,0642
	4,2496		1,2255		1,3094		0,0538
	3,3562		0,7513		1,5931		0,0571
	3,647		1,2061		1,3827		0,0708
	3,7755		1,1571		1,7291		0,0712
	4,0045		0,5321		1,4956		0,0684
	<b>3,3519</b>		<b>1,138</b>		<b>1,4125</b>		<b>0,0655</b>
parametr	PE frézováno (Ra)	parametr	PE broušeno (Ra)	parametr	19 463 frézováno (Ra)	parametr	19 463 broušeno (Ra)
$\lambda c=0,8$	5,0021	$\lambda c=0,8$	1,7025	$\lambda c=0,8$	1,5264	$\lambda c=0,8$	0,0982
N=3	4,328	N=3	2,5598	N=3	1,8169	N=3	0,0847
v=0,5	4,0937	v=0,5	2,8643	v=0,5	1,5379	v=0,5	0,1074
r $\delta=2\mu\text{m}$	3,6638	r $\delta=2\mu\text{m}$	1,6508	r $\delta=2\mu\text{m}$	1,7165	r $\delta=2\mu\text{m}$	0,116
TH4	3,7907	TH4	2,6213	TH4	1,7195	TH4	0,1026
	4,6402		1,7754		1,5921		0,0965
	4,4896		2,0367		2,1639		0,0981
	4,275		2,5767		1,6092		0,1052
	3,9333		2,6946		1,656		0,1036
	3,8921		0,9855		1,6894		0,0853
	4,8563		2,3524		1,5427		0,0953
	4,3751		2,0294		1,7564		0,1063
	<b>4,2783</b>		<b>2,1541</b>		<b>1,6939</b>		<b>0,0999</b>

parametr	PE frézováno (Ra)	parametr	PE broušeno (Ra)	parametr	19 463 frézováno (Ra)	parametr	19 463 broušeno (Ra)
λc=0,8	5,0254	λc=0,8	2,2721	λc=0,8	1,6911	λc=0,8	0,2134
N=1	4,9373	N=1	2,4741	N=1	2,007	N=1	0,1051
v=0,5	3,0687	v=0,5	1,6773	v=0,5	1,3251	v=0,5	0,1704
rε=2μm	3,1088	rε=2μm	1,5039	rε=2μm	1,4596	rε=2μm	0,1896
TH5	3,6283	TH5	1,3134	TH5	1,7984	TH5	0,1737
	5,4153		0,9016		1,6465		0,267
	3,9476		2,3138		1,5885		0,1537
	4,7108		2,4432		1,6941		0,0969
	3,6055		1,1714		1,4928		0,0946
	3,8919		1,808		1,7905		0,1602
	5,7307		1,3963		1,7802		0,0944
	3,7939		1,6784		1,5272		0,1373
	<b>4,2387</b>		<b>1,7461</b>		<b>1,6501</b>		<b>0,1547</b>
parametr	PE frézováno (Ra)	parametr	PE broušeno (Ra)	parametr	19 463 frézováno (Ra)	parametr	19 463 broušeno (Ra)
λc=0,8	1,8799	λc=0,8	0,071	λc=0,8	3,6218	λc=0,8	1,5574
N=5	1,5381	N=5	0,1097	N=5	4,0982	N=5	0,968
v=0,25	1,7176	v=0,25	0,0919	v=0,25	3,9228	v=0,25	1,8728
rε=2μm	2,004	rε=2μm	0,0756	rε=2μm	4,613	rε=2μm	1,7489
TH6	2,0239	TH6	0,0704	TH6	3,9233	TH6	1,2026
	1,945		0,0708		4,0159		1,0124
	1,7273		0,0634		3,9654		1,7437
	1,558		0,0758		4,0494		0,7744
	1,6972		0,0723		4,2718		0,8219
	1,5081		0,067		3,6995		0,708
	1,8161		0,0807		4,2976		1,5182
	1,6256		0,0613		4,3582		1,5263
	<b>1,7534</b>		<b>0,0758</b>		<b>4,0697</b>	$\bar{x}$	<b>1,2879</b>

## MITUTOYO SJ-410

parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
λc=0,8	4,6	λc=0,8	1,068	λc=0,8	1,623	λc=0,8	0,143
N=5	3,97	N=5	1,364	N=5	1,571	N=5	0,152
v=0,5	3,915	v=0,5	1,235	v=0,5	1,649	v=0,5	0,138
rε=5μm	3,923	rε=5μm	1,484	rε=5μm	1,631	rε=5μm	0,173
SJ-410-1	4,249	SJ-410-1	1,27	SJ-410-1	1,642	SJ-410-1	0,159
	3,867		1,324		1,629		0,162
	4,478		1,431		1,667		0,155
	4,27		1,482		1,665		0,168
	3,51		1,416		1,658		0,147
	3,418		1,334		1,609		0,145
	4,037		1,268		1,559		0,156
	4,022		1,794		1,727		0,201
	<b>4,022</b>		<b>1,373</b>		<b>1,636</b>		<b>0,158</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
λc=2,5	4,214	λc=2,5	1,829	λc=2,5	1,923	λc=2,5	0,231
N=5	4,502	N=5	1,432	N=5	1,906	N=5	0,214
v=0,5	4,326	v=0,5	1,658	v=0,5	1,91	v=0,5	0,218
rε=5μm	4,204	rε=5μm	1,08	rε=5μm	1,918	rε=5μm	0,214
SJ-410-2	4,295	SJ-410-2	1,503	SJ-410-2	1,934	SJ-410-2	0,213
	4,372		1,752		1,903		0,22
	4,468		1,825		1,925		0,23
	4,406		1,634		1,911		0,218
	4,359		1,772		1,928		0,213
	4,205		1,105		1,915		0,216
	4,317		1,326		1,926		0,211
	4,461		1,804		1,922		0,237
	<b>4,344</b>		<b>1,56</b>		<b>1,918</b>		<b>0,22</b>

parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda c=0,25$	3,303	$\lambda c=0,25$	1,586	$\lambda c=0,25$	1,282	$\lambda c=0,25$	0,06
N=5	3,42	N=5	1,309	N=5	1,543	N=5	0,057
$v=0,5$	3,326	$v=0,5$	1,086	$v=0,5$	1,185	$v=0,5$	0,056
$r\mathcal{E}=5\mu m$	3,537	$r\mathcal{E}=5\mu m$	1,428	$r\mathcal{E}=5\mu m$	1,626	$r\mathcal{E}=5\mu m$	0,072
SJ-410-3	3,45	SJ-410-3	1,26	SJ-410-3	1,58	SJ-410-3	0,07
	3,401		0,0956		1,822		0,063
	3,397		0,634		1,335		0,051
	3,529		0,0842		1,523		0,061
	3,614		0,766		1,745		0,068
	3,483		1,036		1,602		0,07
	3,514		0,85		1,481		0,059
	3,672		0,61		1,305		0,148
	<b>3,471</b>		<b>0,895</b>		<b>1,502</b>		<b>0,07</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda c=0,8$	4,035	$\lambda c=0,8$	1,853	$\lambda c=0,8$	1,479	$\lambda c=0,8$	0,1
N=3	3,723	N=3	1,63	N=3	2,032	N=3	0,129
$v=0,5$	3,567	$v=0,5$	1,542	$v=0,5$	1,921	$v=0,5$	0,139
$r\mathcal{E}=5\mu m$	3,594	$r\mathcal{E}=5\mu m$	1,851	$r\mathcal{E}=5\mu m$	1,876	$r\mathcal{E}=5\mu m$	0,123
SJ-410-4	3,619	SJ-410-4	2,202	SJ-410-4	1,839	SJ-410-4	0,125
	3,642		1,634		1,902		0,173
	3,697		0,908		1,936		0,223
	3,815		1,52		1,894		0,159
	3,597		1,208		1,765		0,132
	3,96		1,368		1,453		0,143
	3,816		1,275		1,659		0,167
	4,087		0,815		1,867		0,132
	<b>3,763</b>		<b>1,484</b>		<b>1,802</b>		<b>0,145</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda c=0,8$	4,927	$\lambda c=0,8$	1,491	$\lambda c=0,8$	1,538	$\lambda c=0,8$	0,068
N=1	4,315	N=1	1,373	N=1	1,306	N=1	0,096
$v=0,5$	4,608	$v=0,5$	1,365	$v=0,5$	1,892	$v=0,5$	0,049
$r\mathcal{E}=5\mu m$	4,43	$r\mathcal{E}=5\mu m$	1,298	$r\mathcal{E}=5\mu m$	2,23	$r\mathcal{E}=5\mu m$	0,082
SJ-410-5	3,392	SJ-410-5	1,5	SJ-410-5	1,889	SJ-410-5	0,096
	3,309		2,039		1,875		0,141
	4,55		0,673		1,384		0,075
	4,482		0,957		1,789		0,071
	5,518		0,819		1,791		0,076
	4,212		1,164		1,675		0,096
	4,229		1,244		1,532		0,068
	3,956		1,699		1,533		0,05
	<b>4,327</b>		<b>1,302</b>		<b>1,703</b>		<b>0,0807</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda c=0,8$	4,294	$\lambda c=0,8$	1,5	$\lambda c=0,8$	1,524	$\lambda c=0,8$	0,077
N=5	4,103	N=5	2,068	N=5	1,768	N=5	0,089
$v=0,2$	3,871	$v=0,2$	2,377	$v=0,2$	1,935	$v=0,2$	0,108
$r\mathcal{E}=5\mu m$	4,002	$r\mathcal{E}=5\mu m$	1,776	$r\mathcal{E}=5\mu m$	1,758	$r\mathcal{E}=5\mu m$	0,096
SJ-410-6	3,917	SJ-410-6	1,883	SJ-410-6	1,694	SJ-410-6	0,082
	4,219		1,934		1,785		0,081
	4,209		1,742		1,823		0,066
	3,982		1,86		1,752		0,123
	4,316		1,907		1,65		0,092
	4,014		1,759		1,548		0,106
	3,886		1,834		1,649		0,883
	4,309		1,286		1,922		0,064
	<b>4,094</b>		<b>1,827</b>		<b>1,734</b>	$\bar{x}$	<b>0,156</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda c=0,8$	4,543	$\lambda c=0,8$	0,89	$\lambda c=0,8$	1,777	$\lambda c=0,8$	0,106
N=5	4,505	N=5	2,164	N=5	1,782	N=5	0,111
$v=0,5$	4,218	$v=0,5$	2,402	$v=0,5$	1,755	$v=0,5$	0,121
$r\mathcal{E}=2\mu m$	4,368	$r\mathcal{E}=2\mu m$	3,137	$r\mathcal{E}=2\mu m$	1,616	$r\mathcal{E}=2\mu m$	0,124
SJ-410-7	4,055	SJ-410-7	2,623	SJ-410-7	1,531	SJ-410-7	0,12
	4,251		2,741		1,699		0,113
	4,118		2,534		1,581		0,125
	4,367		2,524		1,776		0,117
	4,389		2,618		1,743		0,127
	4,545		2,056		1,635		0,124
	4,435		2,476		1,515		0,105
	4,226		1,688		1,706		0,106
	<b>4,335</b>		<b>2,321</b>		<b>1,676</b>		<b>0,117</b>

parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda_c=2,5$	4,29	$\lambda_c=2,5$	2,298	$\lambda_c=2,5$	1,835	$\lambda_c=2,5$	0,178
N=5	4,298	N=5	2,143	N=5	1,754	N=5	0,186
$v=0,5$	4,32	$v=0,5$	2,07	$v=0,5$	1,672	$v=0,5$	0,193
$r\epsilon=2\mu\text{m}$	4,367	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	2,209	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	1,673	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	0,177
SJ-410-8	4,315	SJ-410-8	2,253	SJ-410-8	1,828	SJ-410-8	0,173
	4,33		2,116		1,822		0,18
	4,329		2,075		1,673		0,193
	4,357		2,211		1,749		0,195
	4,382		2,259		1,828		0,173
	4,358		2,193		1,687		0,179
	4,344		2,093		1,664		0,195
	4,308		2,259		1,84		0,174
	<b>4,333</b>		<b>2,182</b>		<b>1,752</b>		<b>0,183</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda_c=0,25$	3,468	$\lambda_c=0,25$	1,054	$\lambda_c=0,25$	1,492	$\lambda_c=0,25$	0,07
N=5	3,386	N=5	1,123	N=5	1,423	N=5	0,075
$v=0,5$	3,121	$v=0,5$	0,589	$v=0,5$	1,585	$v=0,5$	0,056
$r\epsilon=2\mu\text{m}$	3,263	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	1,158	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	1,27	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	0,047
SJ-410-9	3,399	SJ-410-9	0,59	SJ-410-9	1,536	SJ-410-9	0,065
	4,08		1,04		1,198		0,076
	3,028		1,497		1,228		0,049
	3,142		1,489		1,153		0,067
	3,11		1,502		1,452		0,051
	3,76		1,267		1,385		0,108
	3,001		1,866		1,523		0,054
	3,747		0,986		1,349		0,063
	<b>3,375</b>		<b>1,18</b>		<b>1,383</b>		<b>0,065</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda_c=0,8$	4,421	$\lambda_c=0,8$	1,955	$\lambda_c=0,8$	1,724	$\lambda_c=0,8$	0,14
N=3	4,236	N=3	2,169	N=3	1,524	N=3	1,263
$v=0,5$	4,393	$v=0,5$	1,683	$v=0,5$	1,642	$v=0,5$	0,104
$r\epsilon=2\mu\text{m}$	4,169	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	2,304	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	1,492	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	1,145
SJ-410-10	4,087	SJ-410-10	2,517	SJ-410-10	1,611	SJ-410-10	0,134
	4,441		1,859		1,168		1,382
	4,209		2,495		1,641		0,115
	4,329		1,8		1,155		1,119
	4,396		1,65		1,474		0,145
	4,251		1,948		1,498		1,132
	4,488		2,881		1,476		0,149
	4,373		1,385		1,717		0,11
	<b>4,316</b>		<b>2,054</b>		<b>1,51</b>		<b>0,578</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda_c=0,8$	4,808	$\lambda_c=0,8$	2,159	$\lambda_c=0,8$	1,708	$\lambda_c=0,8$	0,068
N=1	4,482	N=1	4,362	N=1	1,251	N=1	0,05
$v=0,5$	5,312	$v=0,5$	1,744	$v=0,5$	1,572	$v=0,5$	0,123
$r\epsilon=2\mu\text{m}$	3,346	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	0,611	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	1,885	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	0,063
SJ-410-11	4,08	SJ-410-11	1,778	SJ-410-11	1,8	SJ-410-11	0,055
	3,389		0,78		1,229		0,092
	4,309		3,404		2,06		0,123
	4,54		1,687		1,276		0,049
	3,568		1,617		1,994		0,072
	4,211		1,821		1,335		0,08
	4,09		1,116		1,263		0,084
	4,803		3,077		1,734		0,139
	<b>4,245</b>		<b>2,013</b>		<b>1,592</b>		<b>0,083</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda_c=0,8$	4,332	$\lambda_c=0,8$	1,874	$\lambda_c=0,8$	1,671	$\lambda_c=0,8$	0,087
N=5	3,926	N=5	1,325	N=5	1,623	N=5	0,091
$v=0,2$	3,727	$v=0,2$	1,47	$v=0,2$	1,463	$v=0,2$	0,087
$r\epsilon=2\mu\text{m}$	3,943	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	1,026	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	1,503	$r\epsilon=2\mu\text{m}$	0,085
SJ-410-12	3,892	SJ-410-12	1,111	SJ-410-12	1,596	SJ-410-12	0,113
	4,038		0,954		1,495		0,126
	4,131		0,488		1,704		0,15
	3,968		0,761		1,783		0,142
	4,093		0,479		1,922		0,094
	3,994		1,368		1,83		0,106
	4,103		1,296		1,739		0,118
	3,897		2,074		1,472		0,084
	<b>4,004</b>		<b>1,186</b>		<b>1,65</b>		<b>0,107</b>

# MITUTOYO SJ-301

parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda c=0,8$	3,27	$\lambda c=0,8$	0,98	$\lambda c=0,8$	1,6	$\lambda c=0,8$	0,08
N=5	3,9	N=5	0,94	N=5	1,71	N=5	0,17
v=0,5	3,56	v=0,5	2,09	v=0,5	1,75	v=0,5	0,17
r $\xi=10\mu m$	3,75	r $\xi=10\mu m$	1,38	r $\xi=10\mu m$	1,69	r $\xi=10\mu m$	0,13
SJ-301-1	4,13	SJ-301-1	2,36	SJ-301-1	1,68	SJ-301-1	0,15
	3,64		2,69		1,66		0,21
	3,64		1,54		1,64		0,14
	3,64		0,82		1,67		0,12
	4,34		1,51		1,65		0,16
	4,1		1,9		1,84		0,18
	3,42		2,38		1,5		0,18
	3,79		1,24		1,58		0,13
	<b>3,77</b>		<b>1,65</b>		<b>1,66</b>		<b>0,15</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda c=2,5$	4,27	$\lambda c=2,5$	1,53	$\lambda c=2,5$	2,14	$\lambda c=2,5$	0,12
N=5	4,06	N=5	1,64	N=5	1,91	N=5	0,17
v=0,5	4	v=0,5	2,93	v=0,5	1,94	v=0,5	0,22
r $\xi=10\mu m$	3,85	r $\xi=10\mu m$	2,6	r $\xi=10\mu m$	2,03	r $\xi=10\mu m$	0,22
SJ-301-2	3,98	SJ-301-2	2,31	SJ-301-2	2,08	SJ-301-2	0,22
	4,1		2,15		1,86		0,21
	3,94		1,81		2,24		0,28
	3,85		2,48		2,14		0,31
	4,17		3,35		1,94		0,25
	4,02		2,71		2,09		0,28
	4,11		2,35		1,95		0,25
	3,77		2,48		2,04		0,24
	<b>4,01</b>		<b>2,36</b>		<b>2,03</b>		<b>0,23</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda c=0,8$	3,7	$\lambda c=0,8$	1,99	$\lambda c=0,8$	1,82	$\lambda c=0,8$	0,11
N=3	4,24	N=3	1,69	N=3	1,75	N=3	0,14
v=0,5	3,77	v=0,5	1,23	v=0,5	1,72	v=0,5	0,15
r $\xi=10\mu m$	4,09	r $\xi=10\mu m$	2,34	r $\xi=10\mu m$	1,72	r $\xi=10\mu m$	0,1
SJ-301-3	3,82	SJ-301-3	2,98	SJ-301-3	1,81	SJ-301-3	0,14
	3,87		1,16		1,71		0,12
	3,77		2,25		1,91		0,12
	3,7		1,81		1,48		0,23
	4		1,79		1,68		0,15
	3,57		1,15		1,85		0,1
	3,45		2,12		1,79		0,15
	3,73		1,26		1,68		0,08
	<b>3,81</b>		<b>1,81</b>		<b>1,74</b>		<b>0,13</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda c=0,8$	2,91	$\lambda c=0,8$	0,5	$\lambda c=0,8$	1,8	$\lambda c=0,8$	0,13
N=1	3,77	N=1	1,68	N=1	1,4	N=1	0,12
v=0,5	4,17	v=0,5	2,13	v=0,5	1,59	v=0,5	0,12
r $\xi=10\mu m$	4,24	r $\xi=10\mu m$	1,39	r $\xi=10\mu m$	1,31	r $\xi=10\mu m$	0,08
SJ-301-4	4,11	SJ-301-4	1,06	SJ-301-4	1,85	SJ-301-4	0,16
	3,65		1,19		1,41		0,11
	3,05		1,53		1,19		0,11
	3,78		1,86		2,07		0,07
	3,6		1,55		1,6		0,1
	4,02		1,77		1,41		0,13
	3,5		1,3		1,56		0,11
	4,2		1,5		1,69		0,08
	<b>3,75</b>		<b>1,46</b>		<b>1,57</b>		<b>0,11</b>
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
$\lambda c=0,8$	3,54	$\lambda c=0,8$	1,7	$\lambda c=0,8$	1,66	$\lambda c=0,8$	0,2
N=5	3,61	N=5	1,47	N=5	1,74	N=5	0,17
v=0,25	3,83	v=0,25	2,36	v=0,25	1,7	v=0,25	0,09
r $\xi=10\mu m$	4,09	r $\xi=10\mu m$	1,82	r $\xi=10\mu m$	1,56	r $\xi=10\mu m$	0,11
SJ-301-5	3,95	SJ-301-5	1,32	SJ-301-5	1,65	SJ-301-5	0,11
	3,94		2,06		2,04		0,08
	3,62		2,51		1,59		0,17
	3,87		2,13		1,9		0,16
	3,81		0,79		1,85		0,18
	3,97		1,54		1,73		0,11
	3,87		1,86		1,58		0,17
	3,98		1,6		1,66		0,13
	<b>3,84</b>		<b>1,76</b>		<b>1,72</b>		<b>0,14</b>



parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
λc=0,8	3,87	λc=0,8	2,15	λc=0,8	1,49	λc=0,8	0,23
N=5	3,79	N=5	1,45	N=5	1,52	N=5	0,15
v=0,5	3,84	v=0,5	2,72	v=0,5	1,58	v=0,5	0,18
rε=2μm	3,95	rε=2μm	1,62	rε=2μm	1,77	rε=2μm	0,21
SJ-301-6	3,86	SJ-301-6	1,87	SJ-301-6	1,63	SJ-301-6	0,22
	3,71		0,93		1,42		0,17
	4,12		1,51		1,6		0,2
	3,81		1,76		1,57		0,18
	4,27		1,63		1,69		0,16
	4,35		1,74		1,71		0,18
	4,02		1,96		1,66		0,19
	4,83		1,57		1,73		0,14
	<b>4,04</b>		<b>1,74</b>		<b>1,61</b>		<b>0,18</b>

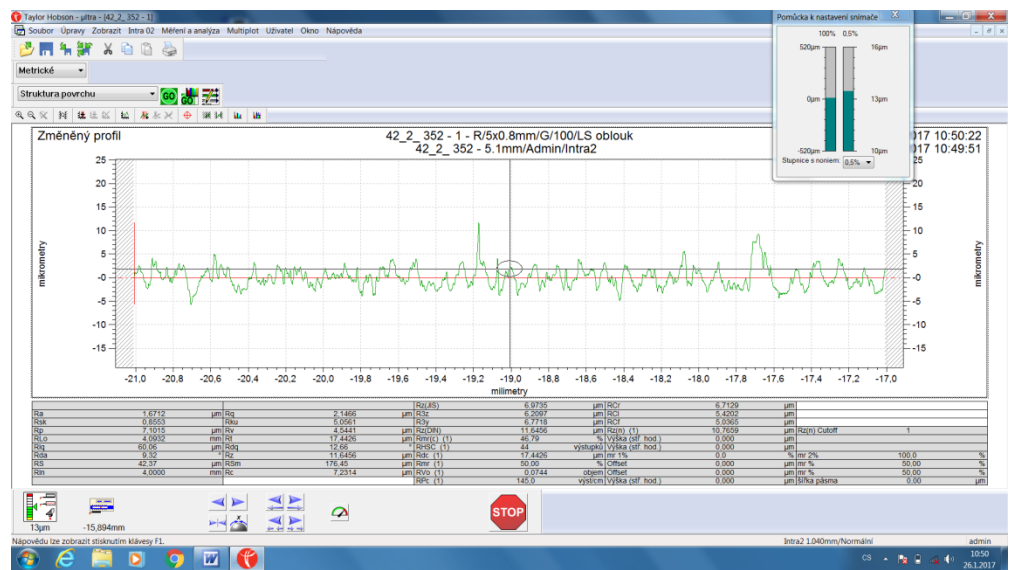
parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
λc=2,5	4,78	λc=2,5	2,03	λc=2,5	1,85	λc=2,5	0,24
N=5	4,33	N=5	1,92	N=5	1,87	N=5	0,17
v=0,5	5,06	v=0,5	2,13	v=0,5	1,95	v=0,5	0,22
rε=2μm	5,1	rε=2μm	2,29	rε=2μm	1,93	rε=2μm	0,19
SJ-301-7	4,52	SJ-301-7	2,1	SJ-301-7	2,03	SJ-301-7	0,16
	4,18		1,84		1,96		0,27
	4,13		1,92		1,88		0,23
	4,16		2,12		1,91		0,21
	4,09		1,66		1,91		0,26
	4,17		2,16		1,92		0,19
	4,13		1,97		1,89		0,18
	4,18		2,47		2,23		0,29
	<b>4,4</b>		<b>2,05</b>		<b>1,94</b>		<b>0,22</b>

parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
λc=0,8	4,99	λc=0,8	2,84	λc=0,8	2,01	λc=0,8	0,19
N=3	3,61	N=3	1,95	N=3	1,93	N=3	0,21
v=0,5	3,47	v=0,5	2,55	v=0,5	1,73	v=0,5	0,18
rε=2μm	4,18	rε=2μm	2	rε=2μm	1,82	rε=2μm	0,17
SJ-301-8	4,42	SJ-301-8	2,18	SJ-301-8	1,79	SJ-301-8	0,14
	4,12		2,22		1,86		0,21
	4,35		2,53		1,6		0,23
	4,06		2,06		1,75		0,17
	3,87		1,81		1,72		0,2
	3,56		2,78		1,81		0,13
	3,95		2,13		1,77		0,19
	3,94		2,6		1,67		0,12
	<b>4,04</b>		<b>2,3</b>		<b>1,79</b>		<b>0,18</b>

parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
λc=0,8	4,34	λc=0,8	0,65	λc=0,8	1,64	λc=0,8	0,15
N=1	2,85	N=1	1,88	N=1	1,54	N=1	0,14
v=0,5	3,33	v=0,5	1,38	v=0,5	1,55	v=0,5	0,13
rε=2μm	3,45	rε=2μm	1,23	rε=2μm	1,61	rε=2μm	0,17
SJ-301-9	4,32	SJ-301-9	1,68	SJ-301-9	1,48	SJ-301-9	0,18
	3,38		1,43		1,34		0,15
	4,71		1,96		1,52		0,19
	3,8		1,83		1,95		0,16
	4,88		1,79		1,6		0,17
	5,17		1,59		1,88		0,2
	3,92		1,59		1,41		0,21
	4,63		2,06		2,12		0,15
	<b>4,07</b>	$\bar{x}$	<b>1,59</b>		<b>1,64</b>		<b>0,17</b>

parametry	PE-frézováno (Ra)	parametry	PE-broušeno (Ra)	parametry	19436-frézováno (Ra)	parametry	19436-broušeno (Ra)
λc=0,8	3,98	λc=0,8	1,11	λc=0,8	1,67	λc=0,8	0,21
N=5	3,93	N=5	2,64	N=5	1,73	N=5	0,18
v=0,25	3,98	v=0,25	1,56	v=0,25	1,75	v=0,25	0,15
rε=2μm	4,17	rε=2μm	1,85	rε=2μm	1,78	rε=2μm	0,16
SJ-301-10	4,28	SJ-301-10	1,74	SJ-301-10	1,81	SJ-301-10	0,09
	4,69		1,93		1,64		0,1
	4,49		2,05		1,56		0,12
	4,35		1,86		1,62		0,16
	4,56		1,9		1,6		0,18
	3,89		1,76		1,58		0,14
	4,32		1,81		1,62		0,15
	4,35		1,5		1,67		0,11
	<b>4,25</b>		<b>1,81</b>		<b>1,67</b>		<b>0,15</b>

# PŘÍLOHA P III: ZOBRAZENÍ MĚŘENÍ NA TAYLOR HOBSON



# PŘÍLOHA P IV: ZOBRAZENÍ MĚŘENÍ NA MITUTOYO SJ-410

**Mitutoyo** SURFTTEST  
SJ-410

Datum 25/01/2017  
Cas 17:21:27

PodminkyMereni

Rychl. -M	0.2mm/s
Rychl. -Zpet	2.0mm/s
Rozsah	AUTO
Mimo rozs.	ESC
Komp. ramen	Vyp
Auto-Start	Vyp
Auto-Zpet	Vyp
Zatazeni	Vyp
Pojezd	Zap
Vysl. kalib.	Vyp
Vyber doteku	12AAC731

**A** Podm. vyhodn.

Norma	ISO1997
Profil	R
Filtr	GAUSS
λc	0.8mm
λs	2.5μm
N	5
Pre/Post	Vyp
SmazatVln.	Vyp
Tol. vyhodno.	StredHod
Komp. Prof.	Vyp
StredniPr.	Vypnout

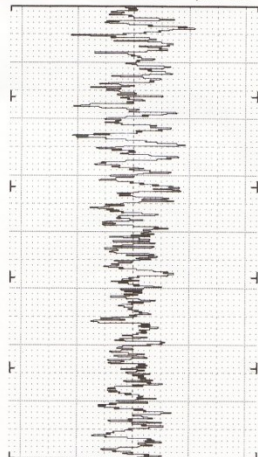
Vysledky

Ra	1.472	μm
Rz	8.662	μm
RSm	98.2	μm
[Zp/Zv: 10.0%]		

RProfil

x2K  
x20

V-meritko 5.00 μm/cm  
H-meritko 500.00 μm/cm



**Mitutoyo** SURFTTEST  
SJ-410

Datum 25/01/2017  
Cas 17:38:57

PodminkyMereni

Rychl. -M	0.5mm/s
Rychl. -Zpet	2.0mm/s
Rozsah	AUTO
Mimo rozs.	ESC
Komp. ramen	Vyp
Auto-Start	Vyp
Auto-Zpet	Vyp
Zatazeni	Vyp
Pojezd	Zap
Vysl. kalib.	Vyp
Vyber doteku	12AAC731

**A** Podm. vyhodn.

Norma	ISO1997
Profil	R
Filtr	GAUSS
λc	0.8mm
λs	2.5μm
N	3
Pre/Post	Vyp
SmazatVln.	Vyp
Tol. vyhodno.	StredHod
Komp. Prof.	Vyp
StredniPr.	Vypnout

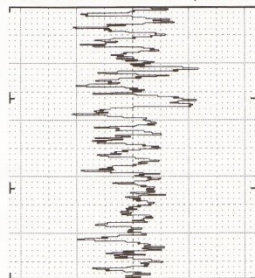
Vysledky

Ra	1.717	μm
Rz	10.103	μm
RSm	116.6	μm
[Zp/Zv: 10.0%]		

RProfil

x2K  
x20

V-meritko 5.00 μm/cm  
H-meritko 500.00 μm/cm



**Mitutoyo** SURFTTEST  
SJ-410

Datum 25/01/2017  
Cas 17:45:12

PodminkyMereni

Rychl. -M	0.5mm/s
Rychl. -Zpet	2.0mm/s
Rozsah	AUTO
Mimo rozs.	ESC
Komp. ramen	Vyp
Auto-Start	Vyp
Auto-Zpet	Vyp
Zatazeni	Vyp
Pojezd	Zap
Vysl. kalib.	Vyp
Vyber doteku	12AAC731

**A** Podm. vyhodn.

Norma	ISO1997
Profil	R
Filtr	GAUSS
λc	0.25mm
λs	2.5μm
N	5
Pre/Post	Vyp
SmazatVln.	Vyp
Tol. vyhodno.	StredHod
Komp. Prof.	Vyp
StredniPr.	Vypnout

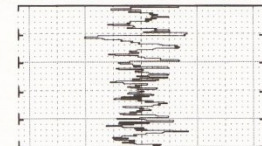
Vysledky

Ra	1.349	μm
Rz	6.810	μm
RSm	88.6	μm
[Zp/Zv: 10.0%]		

RProfil

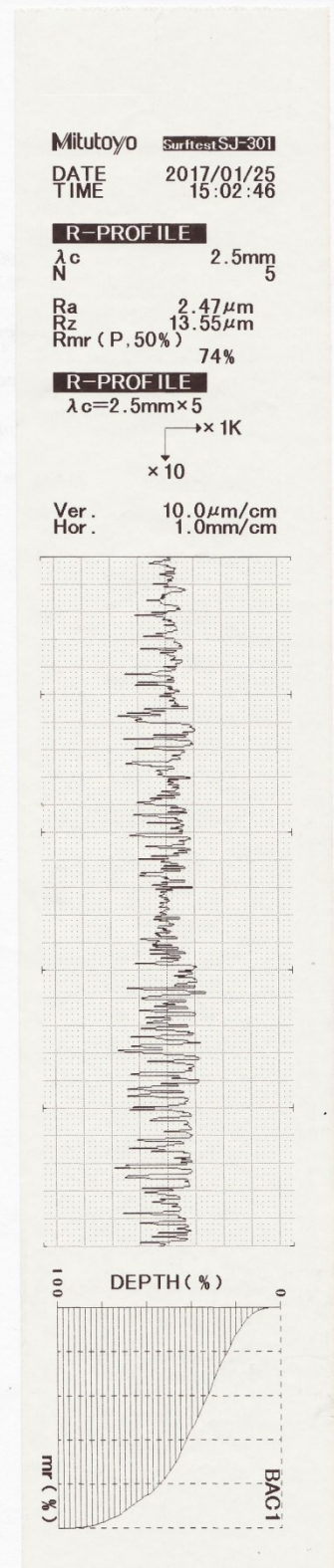
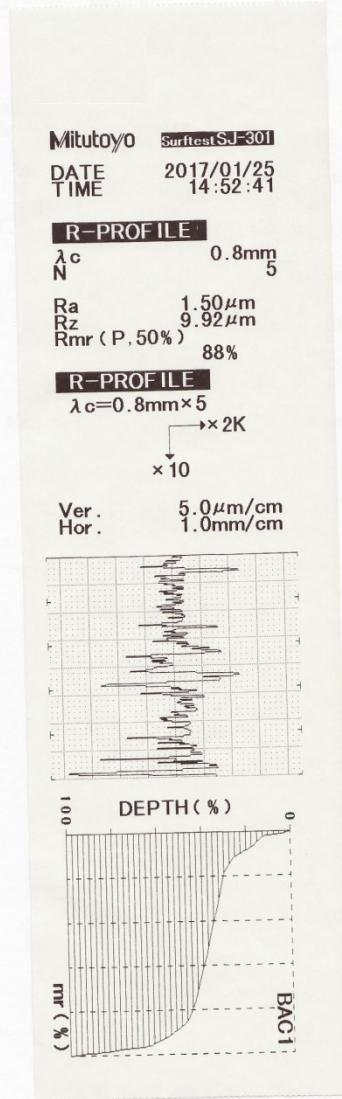
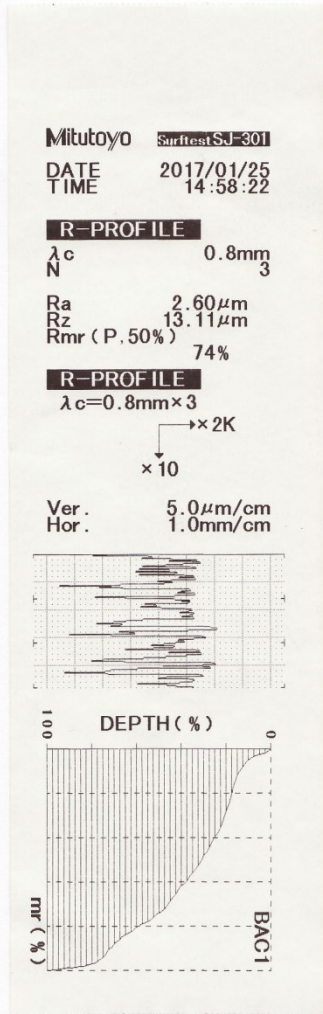
x2K  
x20

V-meritko 5.00 μm/cm  
H-meritko 500.00 μm/cm





# PŘÍLOHA P V: ZOBRAZENÍ MĚŘENÍ NA MITUTOYO SJ-301



## PŘÍLOHA P VI: STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ V MINUTABU

	n	$\bar{x}$	$u_a$	s	Xmin	M	Xmax	R
TH1-PE/fr	12	4,353	0,164	0,568	3,583	4,152	5,478	1,895
TH2-PE/fr	12	4,712	0,107	0,371	4,211	4,716	5,412	1,201
TH3-PE/fr	12	3,562	0,101	0,350	3,061	3,496	4,250	1,188
TH4-PE/fr	12	4,278	0,122	0,422	3,664	4,302	5,002	1,338
TH5-PE/fr	12	4,239	0,258	0,893	3,069	3,920	5,731	2,662
TH6-PE/fr	12	1,7534	0,0521	0,1806	1,5081	1,7225	2,0239	0,5158

	n	$\bar{x}$	$u_a$	s	Xmin	M	Xmax	R
TH1-PE/br	12	2,114	0,492	1,705	1,167	1,485	7,307	6,140
TH2-PE/br	12	2,127	0,112	0,387	1,491	2,146	2,660	1,169
TH3-PE/br	12	1,138	0,155	0,537	0,516	1,105	2,372	1,856
TH4-PE/br	12	2,154	0,160	0,555	0,986	2,195	2,864	1,879
TH5-PE/br	12	1,746	0,152	0,526	0,902	1,678	2,474	1,573
TH6-PE/br	12	0,07583	0,00386	0,01336	0,06130	0,07165	0,10970	0,04840

	n	$\bar{x}$	$u_a$	s	Xmin	M	Xmax	R
TH1-oc/fr	12	1,6742	0,0376	0,1304	1,4753	1,6704	1,8840	0,4087
TH2-oc/fr	12	1,7925	0,0337	0,1166	1,6467	1,7864	2,0269	0,3802
TH3-oc/fr	12	1,4125	0,0595	0,2062	0,9619	1,4285	1,7291	0,7672
TH4-oc/fr	12	1,6939	0,0504	0,1746	1,5264	1,6727	2,1639	0,6375
TH5-oc/fr	12	1,6501	0,0533	0,1847	1,3251	1,6688	2,0070	0,6819
TH6-oc/fr	12	4,0697	0,0810	0,2807	3,6218	4,0327	4,6130	0,9912

	n	$\bar{x}$	$u_a$	s	Xmin	M	Xmax	R
TH1-oc/br	12	0,11571	0,00709	0,02456	0,08550	0,11995	0,15460	0,06910
TH2-oc/br	12	0,19264	0,00987	0,03420	0,13520	0,18780	0,25460	0,11940
TH3-oc/br	12	0,06553	0,00433	0,01500	0,04800	0,06435	0,10530	0,05730
TH4-oc/br	12	0,09993	0,00259	0,00899	0,08470	0,10040	0,11600	0,03130
TH5-oc/br	12	0,1547	0,0154	0,0533	0,0944	0,1570	0,2670	0,1726
TH6-oc/br	12	1,288	0,121	0,421	0,708	1,360	1,873	1,165

	n	$\bar{x}$	$u_a$	s	Xmin	M	Xmax	R
SJ-410/1-PE/fr	12	4,022	0,100	0,348	3,418	3,996	4,600	1,182
SJ-410/2-PE/fr	12	4,3441	0,0299	0,1036	4,2040	4,3425	4,5020	0,2980
SJ-410/3-PE/fr	12	3,4705	0,0318	0,1101	3,3030	3,4665	3,6720	0,3690
SJ-410/4-PE/fr	12	3,7627	0,0522	0,1807	3,5670	3,7100	4,0870	0,5200
SJ-410/5-PE/fr	12	4,327	0,174	0,604	3,309	4,373	5,518	2,209
SJ-410/6-PE/fr	12	4,0935	0,0489	0,1695	3,8710	4,0585	4,3160	0,4450
SJ-410/7-PE/fr	12	4,3350	0,0468	0,1622	4,0550	4,3675	4,5450	0,4900
SJ-410/8-PE/fr	12	4,3332	0,00830	0,0288	4,2900	4,3295	4,3820	0,0920
SJ-410/9-PE/fr	12	3,3754	0,0975	0,3378	3,0010	3,3245	4,0800	1,0790
SJ-410/10-PE/fr	12	4,3161	0,0357	0,1236	4,0870	4,3510	4,4880	0,4010
SJ-410/11-PE/fr	12	4,245	0,173	0,600	3,346	4,260	5,312	1,966
SJ-410/12-PE/fr	12	4,0037	0,0439	0,1521	3,7270	3,9810	4,3320	0,6050

	n	$\bar{x}$	$u_a$	s	Xmin	M	Xmax	R
SJ-410/1-PE/br	12	1,3725	0,0511	0,1769	1,0680	1,3490	1,7940	0,7260
SJ-410/2-PE/br	12	1,5600	0,0784	0,2715	1,0800	1,6460	1,8290	0,7490
SJ-410/3-PE/br	12	0,895	0,140	0,485	0,084	0,943	1,586	1,502
SJ-410/4-PE/br	12	1,484	0,115	0,399	0,815	1,531	2,202	1,387
SJ-410/5-PE/br	12	1,302	0,109	0,376	0,673	1,332	2,039	1,366
SJ-410/6-PE/br	12	1,8272	0,0777	0,2691	1,2860	1,8470	2,3770	1,0910
SJ-410/7-PE/br	12	2,321	0,167	0,579	0,890	2,500	3,137	2,247
SJ-410/8-PE/br	12	2,1816	0,0230	0,0797	2,0700	2,2010	2,2980	0,2280
SJ-410/9-PE/br	12	1,180	0,108	0,376	0,589	1,140	1,866	1,277
SJ-410/10-PE/br	12	2,054	0,124	0,431	1,385	1,952	2,881	1,496
SJ-410/11-PE/br	12	2,013	0,318	1,101	0,611	1,761	4,362	3,751
SJ-410/12-PE/br	12	1,185	0,142	0,492	0,479	1,204	2,074	1,595

	n	$\bar{x}$	$u_a$	s	Xmin	M	Xmax	R
SJ-410/1-oc/fr	12	1,6358	0,0129	0,0446	1,5590	1,6365	1,7270	0,1680
SJ-410/2-oc/fr	12	1,9184	0,00275	0,00953	1,9030	1,9200	1,9340	0,0310
SJ-410/3-oc/fr	12	1,5024	0,0558	0,1933	1,1850	1,5330	1,8220	0,6370
SJ-410/4-oc/fr	12	1,8019	0,0524	0,1815	1,4530	1,8715	2,0320	0,5790
SJ-410/5-oc/fr	12	1,7028	0,0748	0,2591	1,3060	1,7320	2,2300	0,9240
SJ-410/6-oc/fr	12	1,7340	0,0372	0,1289	1,5240	1,7550	1,9350	0,4110
SJ-410/7-oc/fr	12	1,6763	0,0282	0,0976	1,5150	1,7025	1,7820	0,2670
SJ-410/8-oc/fr	12	1,7521	0,0217	0,0750	1,6640	1,7515	1,8400	0,1760
SJ-410/9-oc/fr	12	1,3828	0,0415	0,1437	1,1530	1,4040	1,5850	0,4320
SJ-410/10-oc/fr	12	1,5102	0,0536	0,1858	1,1550	1,5110	1,7240	0,5690
SJ-410/11-oc/fr	12	1,5922	0,0899	0,3113	1,2290	1,6400	2,0600	0,8310
SJ-410/12-oc/fr	12	1,6501	0,0436	0,1511	1,4630	1,6470	1,9220	0,4590

	n	$\bar{x}$	$u_a$	s	Xmin	M	Xmax	R
SJ-410/1-oc/br	12	0,15825	0,00489	0,01693	0,13800	0,15550	0,20100	0,06300
SJ-410/2-oc/br	12	0,21958	0,00244	0,00844	0,21100	0,21700	0,23700	0,02600
SJ-410/3-oc/br	12	0,06958	0,00737	0,02553	0,05100	0,06200	0,14800	0,09700
SJ-410/4-oc/br	12	0,14542	0,00917	0,03175	0,10000	0,13550	0,22300	0,12300
SJ-410/5-oc/br	12	0,08067	0,00716	0,02479	0,04900	0,07550	0,14100	0,09200
SJ-410/6-oc/br	12	0,1556	0,0663	0,2297	0,0640	0,0905	0,8830	0,8190
SJ-410/7-oc/br	12	0,11658	0,00234	0,00811	0,10500	0,11850	0,12700	0,02200
SJ-410/8-oc/br	12	0,18300	0,00256	0,00886	0,17300	0,17950	0,19500	0,02200
SJ-410/9-oc/br	12	0,06508	0,00483	0,01674	0,04700	0,06400	0,10800	0,06100
SJ-410/10-oc/br	12	0,578	0,162	0,560	0,104	0,147	1,382	1,278
SJ-410/11-oc/br	12	0,08317	0,00879	0,03045	0,04900	0,07600	0,13900	0,09000
SJ-410/12-oc/br	12	0,10692	0,00665	0,02302	0,08400	0,10000	0,15000	0,06600

	n	$\bar{x}$	$u_a$	s	Xmin	M	Xmax	R
SJ-301/1-PE/fr	12	3,7650	0,0891	0,3087	3,2700	3,6950	4,3400	1,0700
SJ-301/2-PE/fr	12	4,0100	0,0416	0,1442	3,7700	4,0100	4,2700	0,5000
SJ-301/3-PE/fr	12	3,8092	0,0630	0,2183	3,4500	3,7700	4,2400	0,7900
SJ-301/4-PE/fr	12	3,750	0,127	0,438	2,910	3,775	4,240	1,330
SJ-301/5-PE/fr	12	3,8400	0,0489	0,1693	3,5400	3,8700	4,0900	0,5500
SJ-301/6-PE/fr	12	4,0350	0,0918	0,3181	3,7100	3,9100	4,8300	1,1200
SJ-301/7-PE/fr	12	4,402	0,108	0,374	4,090	4,180	5,100	1,010
SJ-301/8-PE/fr	12	4,043	0,122	0,422	3,470	4,005	4,990	1,520
SJ-301/9-PE/fr	12	4,065	0,208	0,721	2,850	4,120	5,170	2,320
SJ-301/10-PE/fr	12	4,2492	0,0757	0,2624	3,8900	4,3000	4,6900	0,8000

	n	$\bar{x}$	$u_a$	s	Xmin	M	Xmax	R
SJ-301/1-PE/br	12	1,652	0,180	0,624	0,820	1,525	2,690	1,870
SJ-301/2-PE/br	12	2,362	0,153	0,528	1,530	2,415	3,350	1,820
SJ-301/3-PE/br	12	1,814	0,162	0,563	1,150	1,800	2,980	1,830
SJ-301/4-PE/br	12	1,455	0,122	0,421	0,500	1,515	2,130	1,630
SJ-301/5-PE/br	11	1,769	0,149	0,495	0,790	1,820	2,510	1,720
SJ-301/6-PE/br	12	1,742	0,124	0,431	0,930	1,685	2,720	1,790
SJ-301/7-PE/br	12	2,0508	0,0613	0,2125	1,6600	2,0650	2,4700	0,8100
SJ-301/8-PE/br	12	2,3042	0,0987	0,3421	1,8100	2,2000	2,8400	1,0300
SJ-301/9-PE/br	12	1,589	0,111	0,385	0,650	1,635	2,060	1,410
SJ-301/10-PE/br	12	1,809	0,104	0,360	1,110	1,830	2,640	1,530

	n	$\bar{x}$	$u_a$	s	Xmin	M	Xmax	R
SJ-301/1-oc/fr	12	1,6642	0,0247	0,0854	1,5000	1,6650	1,8400	0,3400
SJ-301/2-oc/fr	12	2,0300	0,0326	0,1130	1,8600	2,0350	2,2400	0,3800
SJ-301/3-oc/fr	12	1,7433	0,0315	0,1092	1,4800	1,7350	1,9100	0,4300
SJ-301/4-oc/fr	12	1,5733	0,0723	0,2503	1,1900	1,5750	2,0700	0,8800
SJ-301/5-oc/fr	12	1,7217	0,0414	0,1436	1,5600	1,6800	2,0400	0,4800
SJ-301/6-oc/fr	12	1,6142	0,0302	0,1046	1,4200	1,6150	1,7700	0,3500
SJ-301/7-oc/fr	12	1,9442	0,0294	0,1018	1,8500	1,9150	2,2300	0,3800
SJ-301/8-oc/fr	12	1,7883	0,0320	0,1109	1,6000	1,7800	2,0100	0,4100
SJ-301/9-oc/fr	12	1,6367	0,0667	0,2311	1,3400	1,5750	2,1200	0,7800
SJ-301/10-oc/fr	12	1,6692	0,0235	0,0813	1,5600	1,6550	1,8100	0,2500

	n	$\bar{x}$	$u_a$	s	Xmin	M	Xmax	R
SJ-301/1-oc/br	12	0,15167	0,00991	0,03433	0,08000	0,15500	0,21000	0,13000
SJ-301/2-oc/br	12	0,2308	0,0147	0,0511	0,1200	0,2300	0,3100	0,1900
SJ-301/3-oc/br	12	0,1325	0,0111	0,0384	0,0800	0,1300	0,2300	0,1500
SJ-301/4-oc/br	12	0,11000	0,00728	0,02523	0,07000	0,11000	0,16000	0,09000
SJ-301/5-oc/br	12	0,1400	0,0114	0,0395	0,0800	0,1450	0,2000	0,1200
SJ-301/6-oc/br	12	0,18417	0,00793	0,02746	0,14000	0,18000	0,23000	0,09000
SJ-301/7-oc/br	12	0,2175	0,0120	0,0416	0,1600	0,2150	0,2900	0,1300
SJ-301/8-oc/br	12	0,17833	0,00983	0,03407	0,12000	0,18500	0,23000	0,11000
SJ-301/9-oc/br	12	0,16667	0,00711	0,02462	0,13000	0,16500	0,21000	0,08000
SJ-301/10-oc/br	12	0,1458	0,0103	0,0358	0,0900	0,1500	0,2100	0,1200

Jednotky:

n [-]

$\bar{x}$  [ $\mu\text{m}$ ]

$u_a$  [ $\mu\text{m}$ ]

s [ $\mu\text{m}$ ]

$x_{\min}$  [ $\mu\text{m}$ ]

M [ $\mu\text{m}$ ]

$x_{\max}$  [ $\mu\text{m}$ ]

R [ $\mu\text{m}$ ]

## PŘÍLOHA P VII: KOMBINOVANÁ NEJISTOTA - VÝSLEDKY

Všechny hodnoty jsou v  $\mu\text{m}$ .

uc	PE/fr	PE/br	19436/fr	19436/br
TH1	0,164	0,492	0,0376	0,007091
TH2	0,107	0,112	0,0337	0,009871
TH3	0,101	0,155	0,0595	0,004332
TH4	0,122	0,16	0,0504	0,002594
TH5	0,258	0,152	0,0533	0,015401
TH6	0,0521	0,003863	0,081	0,121

uc	PE/fr	PE/br	19436/fr	19436/br
SJ-410/1	0,100002	0,051104	0,012914	0,004927
SJ-410/2	0,029906	0,078402	0,002815	0,002513
SJ-410/3	0,031806	0,140001	0,055803	0,007394
SJ-410/4	0,052203	0,115002	0,052403	0,00919
SJ-410/5	0,174001	0,010917	0,074802	0,007185
SJ-410/6	0,048904	0,077702	0,037205	0,066303
SJ-410/7	0,046804	0,167001	0,028206	0,002416
SJ-410/8	0,008322	0,023008	0,021708	0,002629
SJ-410/9	0,097502	0,108002	0,041504	0,004867
SJ-410/10	0,035705	0,124001	0,053603	0,162001
SJ-410/11	0,173001	0,318001	0,089902	0,00881
SJ-410/12	0,043904	0,142001	0,043604	0,006677

uc	PE/fr	PE/br	19436/fr	19436/br
SJ-301/1	0,089302	0,1801	0,025418	0,011585
SJ-301/2	0,04203	0,153118	0,033148	0,015877
SJ-301/3	0,063285	0,162111	0,032066	0,012618
SJ-301/4	0,127142	0,122147	0,072549	0,009434
SJ-301/5	0,049267	0,149121	0,041833	0,012883
SJ-301/6	0,091996	0,124145	0,03079	0,009944
SJ-301/7	0,108167	0,061593	0,030006	0,013416
SJ-301/8	0,122147	0,098882	0,032558	0,011516
SJ-301/9	0,208087	0,111162	0,066969	0,009303
SJ-301/10	0,075937	0,104173	0,024254	0,01192



## PŘÍLOHA P VIII: ROZŠÍŘENÁ NEJISTOTA - VÝSLEDKY

Všechny hodnoty jsou v  $\mu\text{m}$ .

<b>u</b>	<b>PE/fr</b>	<b>PE/br</b>	<b>19436/fr</b>	<b>19436/br</b>
TH1	0,492	1,476	0,112801	0,021274
TH2	0,321	0,336	0,101101	0,029613
TH3	0,303	0,465	0,1785	0,012997
TH4	0,366	0,48	0,151201	0,007781
TH5	0,774	0,456	0,159901	0,046202
TH6	0,156301	0,011588	0,243	0,363

<b>u</b>	<b>PE/fr</b>	<b>PE/br</b>	<b>19436/fr</b>	<b>19436/br</b>
SJ-410/1	0,300005	0,153311	0,038742	0,01478
SJ-410/2	0,089718	0,235207	0,008444	0,007538
SJ-410/3	0,095417	0,420004	0,16741	0,022183
SJ-410/4	0,15661	0,345005	0,15721	0,027569
SJ-410/5	0,522003	0,03275	0,224407	0,021555
SJ-410/6	0,146711	0,233107	0,111615	0,198908
SJ-410/7	0,140412	0,501003	0,084619	0,007247
SJ-410/8	0,024965	0,069023	0,065125	0,007888
SJ-410/9	0,292506	0,324005	0,124513	0,014601
SJ-410/10	0,107115	0,372004	0,16081	0,486003
SJ-410/11	0,519003	0,954002	0,269706	0,026431
SJ-410/12	0,131712	0,426004	0,130812	0,020031

<b>u</b>	<b>PE/fr</b>	<b>PE/br</b>	<b>19436/fr</b>	<b>19436/br</b>
SJ-301/1	0,267905	0,5403	0,076255	0,034754
SJ-301/2	0,126091	0,459353	0,099443	0,047632
SJ-301/3	0,189855	0,486333	0,096199	0,037854
SJ-301/4	0,381425	0,366442	0,217646	0,028302
SJ-301/5	0,1478	0,447362	0,125498	0,038648
SJ-301/6	0,275988	0,372435	0,092371	0,029832
SJ-301/7	0,3245	0,184779	0,090018	0,040249
SJ-301/8	0,366442	0,296647	0,097673	0,034549
SJ-301/9	0,62426	0,333486	0,200908	0,02791
SJ-301/10	0,227812	0,312519	0,072762	0,03576

## PŘÍLOHA P IX: GRAFY POROVNÁVÁNÍ MĚŘENÍ

